



TUGAS AKHIR– TM141585

**RANCANG BANGUN DAN STUDI EKSPERIMEN ALAT
PENUKAR PANAS UNTUK MEMANFAATKAN ENERGI
REFRIGERAN KELUAR KOMPRESOR AC SEBAGAI PEMANAS
AIR PADA $ST/D=4$ DENGAN VARIASI VOLUME AIR**

BINAR KUSUMAH BAGJA
NRP. 2114 105 057

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT – TM141585

***DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY HEAT EXCHANGER FOR
UTILIZE REFRIGERANT ENERGY FROM OUTLET AIR
CONDITIONING COMPRESSOR AS WATER HEATER ON $ST/D=4$
WITH WATER VOLUME VARIATION***

BINAR KUSUMAH BAGJA
NRP. 2114 105 057

Advisor
Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

***MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016***

**RANCANG BANGUN DAN STUDI EKSPERIMEN
ALAT PENUKAR PANAS UNTUK
MEMANFAATKAN ENERGI REFRIGERANT
KELUAR KOMPRESOR AC SEBAGAI PEMANAS
AIR PADA $ST/D=4$ DENGAN VARIASI VOLUME AIR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BINAR KUSUMAH BAGJA
NRP. 2114105057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichasani, M.Eng. (Pembimbing)
(NIP. 195310191979031003)
2. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M. Eng. Sc. (Penguji I)
(NIP 196604021989031002)
3. Dr. Wawan Aries Widodo, ST., MT. (Penguji II)
(NIP. 197104051997021001)
4. Bb. Arip Dwiyantoro, ST., M.Sc., Ph.D. (Penguji III)
(NIP. 197804012002121001)

**SURABAYA
JULI, 2016**

**Rancang Bangun dan Studi Eksperimen Alat Penukar Panas
untuk Memanfaatkan Energi Referigerant Keluar
Kompresor AC sebagai Pemanas Air pada ST/D=4 dengan
Variasi Volume Air**

Nama : Binar Kusumah Bagja
NRP : 2114105057
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

ABSTRAK

Sistem referigerasi memiliki energi yang besar dalam melepaskan kalor. Kalor akibat kompresi pada kompresor bisa dimanfaatkan misalnya untuk pemanasan air. Pemanfaatan kalor tersebut dilakukan dengan cara menambahkan *water heater* sebelum aliran fluida referigeran masuk ke kondensor. *Water heater* tersebut dalam keadaan tercelup di dalam sebuah tangki berisi air untuk melepas kalor terhadap air.

Perancangan *water heater* dilakukan dengan mencari panjang *tube* (L), diameter tube (D), dan jarak antar *tube*. *Water Heater* ini diletakkan setelah komponen kompresor pada sistem AC. Proses awal untuk mencari rancangan *water heater* adalah dengan mencari temperatur keluaran kompresor dimana untuk mencari potensi panas yang akan dimanfaatkan untuk memanaskan air. Setelah mencari potensi panas yang dihasilkan dari energi keluaran kompresor adalah mencari kapasitas kalor yang akan diberikan *water heater* terhadap air dan kemudian selanjutnya mencari perpindahan panas yang terjadi pada proses pemanasan air tersebut yang kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari panjang *tube* (L) dan penentuan jarak ST/D pada *tube*. Setelah diperoleh geometri *water heater*, langkah selanjutnya adalah

melakukan simulasi numerik dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT 6.3.2 untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas yang terjadi di dalam proses pemanasan air dengan jarak ST/D yang telah ditentukan sebelumnya. Langkah selanjutnya melakukan eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan volume air dalam tangki yaitu sebesar 75 liter; 85 liter; dan 100 liter.

Hasil simulasi numerik diperoleh bahwa pola aliran kecepatan dengan nilai tertinggi berada pada daerah sekitaran *tube inlet* dikarenakan temperatur yang paling tinggi dibandingkan *tube* lainnya sehingga menimbulkan perbedaan temperatur dan juga densitas pada sekitaran *tube inlet*. Hasil eksperimen diperoleh bahwa volume air yang besar yaitu sebesar 100 liter memiliki *Coefficient of Performance* (COP) tertinggi yaitu sebesar 4,590. Hasil eksperimen diperoleh bahwa volume air yang rendah yaitu sebesar 75 liter memiliki waktu pemanasan air paling cepat yaitu selama 180 menit.

Kata Kunci— *Water Heater, Jarak Tube, Perpindahan Panas Transien, Konveksi Alami, Konveksi pada Aliran Internal Tube, Coefficient of Performance (COP)*

**Design and Experimental Study Heat Exchanger for Utilize
Refrigerant Energy from Outlet Air Conditioning
Compressor as Water Heater on $ST/D=4$ with Water Volume
Variation**

Name : Binar Kusumah Bagja
NRP : 2114105057
Department : Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Djatmiko Ichsani, M.Eng

ABSTRACT

Refrigeration system has large energy for release heat. Heat caused compression can useful for example as water heater. Utilization of heat is exercised by way of adding a water heater before the refrigerant flow goes into the condenser. The water heater is submerged condition at water tank for release heat.

Design of water heater is doing by calculate tube long (L), find tube diameter, and distance between tube. Water Heater placed after compressor at Air Conditioning system. At the first, design of water heater start from search temperature outlet compressor to know heat potential from system. Next step is calculate Water Heater capacity that will release heat and absorbed by water. After that, analyze heat transfer that occur at water heat process. At last, calculate long tube and determine distance between tube and long tube sealed pipe. After design, the next step is doing numerical simulation use software FLUENT 6.3.2 to find heat transfer characteristic that occur during water heat process at distance between tube (ST/D). After simulation is do experiment. The experiment is doing variation of water volume 75 liter; 85 liter; 100 liter.

The result of numerical simulation is that fastest velocity flow occur at around tube inlet because that the highest temperature so that is create high gradient density. The result of

experiment is that water volume 100 liter has the highest Coefficient of Performance (COP) at Air Conditioning system with the value is 4,590. The fastest water heat is experimental with water volume 75 liter with time 180 minutes.

Key Words: Water Heater, Distance Tube, Transient Heat Transfer, Natural Convection, Internal Flow Convection, Coefficient of Performance (COP)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Hasil Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Siklus Kompresi Uap.....	5
2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin.....	7
2.3 Analisa Perpindahan Panas	10
2.3.1 Perpindahan Panas Transien	11
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi pada Aliran Internal Pipa	12
2.3.3 Perpindahan Panas Konveksi Alami.....	13
2.4 Analisa Termodinamika	14
2.4.1 Kerja Isentropis Kompresor dan Kerja Nyata Kompresor	15
2.4.2 Kalor yang dilepas Diserap oleh Air	15
2.4.3 Kalor yang Dilepas oleh Kondensor	16
2.4.4 Kapasitas Pendinginan	16
2.4.5 <i>Coefficient of Performance</i>	17
2.5 Pemodelan pada Fluent	18
2.6 Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Langkah Penelitian.....	23

3.1.1 Perumusan Masalah.....	24
3.1.2 Studi Literatur	24
3.1.3 Pemodelan dan Simulasi	24
3.1.4 Perencanaan dan Perancangan	
Peralatan Eksperimen	25
3.1.5. Pengambilan Data	26
3.1.6 Pengolahan Data	27
3.1.7 Menganalisa dan Mengamati Hasil Perhitungan	27
3.1.8 Pengambilan Kesimpulan.....	27
3.2 Perencanaan <i>Water Heater</i>	27
3.2.1 Mencari Temperatur Keluaran Kompresor	28
3.2.2 Mencari Kapasitas Kalor <i>Water Heater</i>	28
3.2.3 Perhitungan Waktu Pemanasan Air	29
3.2.4 Perhitungan Panjang Pipa	29
3.2.5 Geometri <i>Water Heater</i>	35
3.3 Diagram Alir Perancangan <i>Water Heater</i>	36
3.4 Tahapan Simulasi	37
3.4.1 <i>Pre-Processing</i>	37
3.4.2 <i>Processing</i>	39
3.5 Alat yang Digunakan pada Sistem AC	41
3.5.1 AC <i>Indoor</i>	41
3.5.2 AC <i>Outdoor</i>	42
3.5.3 Pipa Kapiler	43
3.5.2 <i>Water Heater</i>	43
3.6 Alat Ukur	43
3.6.1 Termokopel	43
3.6.2 Pressure Gauge.....	44
3.6.3 Flowmeter	45
3.6.4 Clamp Digital Meter	45
3.6.5 Data Akuisisi	46
3.7 Langkah Pengujian	47
3.7.1 Langkah Persiapan	47
3.7.2 Langkah Pengujian.....	47
3.8 Diagram Alir Pengambilan Data	49

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisa Numerik	51
4.1.1	Distribusi Temperatur	51
4.1.2	Distribusi Kecepatan	53
4.2	Variasi Eksperimen	54
4.3	Perhitungan Data.....	54
4.3.1	Contoh Data Perhitungan.....	55
4.3.2	Perhitungan pada Referigeran	56
4.3.3	Perhitungan \dot{Q} Evaporator	56
4.3.4	Perhitungan \dot{w} Input Aktual Kompresor	57
4.3.5	Perhitungan \dot{w} Isentropis Kompresor	58
4.3.6	Perhitungan Effisiensi Kompresor	59
4.3.7	Perhitungan Kalor yang Diserap Air	59
4.3.8	Perhitungan \dot{Q} Kondensor	60
4.3.9	Perhitungan COP Sistem.....	60
4.4	Pembahasan Grafik	61
4.4.1	Analisis Kerja Kompresor terhadap Waktu	61
4.4.2	Analisis Laju Kalor yang Diserap Air terhadap Waktu.....	62
4.4.3	Analisis Kapasitas Pendinginan terhadap Waktu	62
4.4.4	Analisis Laju Pelepasan Kalor oleh Kondensor terhadap Waktu.....	65
4.4.5	Analisis <i>Coefficient of Performance</i> terhadap Waktu	66
4.4.6	Analisis Temperatur Air terhadap Waktu	67
4.5	Diagram P-h	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Konstanta Bilangan Rayleigh.....	14
Tabel 3.1.	Properties R-22	30
Tabel 3.2	Properties Air	32
Tabel 3.3.	Properties Material yang Digunakan pada Proses Simulasi	40
Tabel 3.4.	Spesifikasi AC <i>Outdoor</i>	42
Tabel 4.1.	Data Eksperimen pada Volume Air 100 Liter Tangki	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Utama Siklus Kompresi Uap	5
Gambar 2.2	Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Ideal dan Aktual	7
Gambar 2.3	Kompresor	8
Gambar 2.4	Kondensor	7
Gambar 2.5	Rangkaian dan Penampang Valve	9
Gambar 2.6.	Pipa Kapiler.....	10
Gambar 2.7	Evaporator AC Split	10
Gambar 2.8	Proses Perpindahan Panas secara Transien pada Air dan <i>Water Heater</i>	12
Gambar 2.9	Kontrol Volume pada Aliran Internal Pipa ...	14
Gambar 2.10	Skema Sistem Referigerasi dengan Penambahan <i>Water Heater</i>	15
Gambar 2.11	Grafik Laju Perpindahan Panas Jajaran Silinder pada Variasi Laju Alir Massa Oli.....	21
Gambar 2.12	Grafik Hasil Eksperimen Fungsi Temperatur terhadap Waktu	22
Gambar 3.1.	Diagram alir langkah penelitian	23
Gambar 3.2.	Skema Sistem AC dengan <i>Water Heater</i>	25
Gambar 3.3.	Peralatan Sistem AC dengan <i>Water</i>	26
Gambar 3.4.	Titik Pengukuran untuk Pengambilan Data .	26
Gambar 3.5	Bentuk Perancangan <i>Water Heater</i>	35
Gambar 3.6	Dimensi <i>Water Heater</i> dan Tangki Air	35
Gambar 3.7.	Diagram Alir Perancangan <i>Water Heater</i> ...	36
Gambar 3.8.	Meshing <i>Tube Water Heater</i> dengan Bentuk Quad-Map	37
Gambar 3.9.	<i>Boundary Condition</i>	38
Gambar 3.10.	<i>AC Indoor</i>	41
Gambar 3.11	<i>AC Outdoor</i>	42
Gambar 3.12	Pipa Kapiler	43
Gambar 3.13	<i>Water Heater</i>	43
Gambar 3.14	Termokopel	44
Gambar 3.15	<i>Low Pressure Gauge</i>	44
Gambar 3.16	<i>High Pressure Gauge</i>	45

Gambar 3.17	Flowmeter.....	45
Gambar 3.18	Clamp Digital Meter.....	45
Gambar 3.19	Data Akuisisi.....	46
Gambar 3.19	Diagram Alir Pengambilan Data.....	49
Gambar 4.1.	Posisi <i>Iso-Surface</i>	51
Gambar 4.2.	Visualisasi Kontur Temperatur Air pada Tangki Kontur Distribusi Temperatur pada ..	51
Gambar 4.3.	Distribusi Temperatur Air dalam Tangki secara Numerikal	52
Gambar 4-4.	Visualisasi Kontur Kecepatan dalam Tangki...	53
Gambar 4-5.	Visualisasi Vektor Kecepatan dalam Tangki....	54
Gambar 4-6.	Grafik Kerja Kompresor terhadap Waktu ...	61
Gambar 4.7	Grafik Laju Kalor yang Diserap oleh Air terhadap Waktu	62
Gambar 4.8	Grafik Kapasitas Pendinginan terhadap Waktu	63
Gambar 4.9	Grafik Laju Pelepasan Kalor oleh Kondensor terhadap Waktu	65
Gambar 4.10	Grafik <i>Coefficient of Perfomance</i> terhadap Waktu	66
Gambar 4.11	Grafik Temperatur Air terhadap Waktu	67
Gambar 4.12	Diagram P-h pada Variasi Volume Air 75 Liter	69
Gambar 4.13	Diagram P-h pada Variasi Volume Air 85 Liter	69
Gambar 4.14	Diagram P-h pada Variasi Volume Air 100 Liter	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian air panas pada saat ini terbilang cukup banyak. Hal tersebut dapat dilihat dari semakin berkembangnya teknologi pemanas air. Misalnya saja pemanas air dengan memanfaatkan energi surya atau matahari selain itu pemanas air dengan pemanfaatan energi listrik menjadi energi panas. Namun, jika dilihat dari segi efisiensi, kedua contoh teknologi pemanas tersebut masih kurang efisien. Misalkan saja, pemanas air dengan memanfaatkan energi listrik yang membutuhkan daya sangat besar sedangkan untuk pemanas air dengan pemanfaatan energi surya masih tergolong mahal dari segi biaya konstruksi. Maka dari itu, dibutuhkan suatu teknologi pemanas air yang lebih efisien dan lebih murah dari segi biaya juga konstruksi.

Pada sistem mesin pendingin terdapat energi panas yang terbuang cukup besar. Hal tersebut dapat dimanfaatkan menjadi pemanas air. Elemen pemanas air tersebut berupa *heat exchanger*. *Heat Exchanger* tersebut tidak membutuhkan suplai daya tambahan, tetapi hanya ditambahkan saja pada sistem mesin pendingin tersebut. *Heat Exchanger* tersebut secara skematis diletakkan diantara kompresor dan kondensor. *Heat Exchanger* tersebut dialiri oleh refrigeran dalam kondisi *superheated* yang berasal dari keluaran kompresor sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pemanas melalui panas yang dipancarkan dari pipa-pipa pada *heat exchanger*. *Heat Exchanger* tersebut dalam mekanismenya dicelupkan ke dalam bak yang berisikan air (sebagai fluida dingin). Air tersebut dibiarkan tidak mengalir atau disebut *unsteady flow*.

Heat Exchanger yang digunakan untuk pemanas air sebagai pemanfaatan energi panas yang tak terpakai dari mesin pendingin ini adalah dengan susunan secara vertikal. Karakteristik *heat exchanger* salah satunya dipengaruhi oleh adanya *gap ratio* yaitu perbandingan antara jarak *transverse tube* dengan diameter *tube*.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diberikan dari latar belakang adalah sebagai berikut

1. Bagaimana pengaruh variasi volume air dalam *water heater tank* pada perubahan temperature air terhadap waktu
2. Bagaimana fenomena perpindahan panas yang terjadi pada *water heater*
3. Bagaimana pengaruh variasi volume air pada *water heater tank* terhadap *Coefficient of Performance (COP)*

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari rancang bangun dan studi eksperimen ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi volume air dalam *water heater tank* pada perubahan temperature air terhadap waktu
2. Mengetahui fenomena perpindahan panas yang terjadi pada *water heater*
3. Mengetahui pengaruh variasi volume air pada *water heater tank* terhadap *Coefficient of Performance (COP)*

1.4 Batasan Masalah

Agar tercapainya tujuan penelitian maka digunakan beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Sisi fluida panas bersifat *steady flow* dan sisi fluida pendingin bersifat *unsteady flow*
2. Fluida panas menggunakan referigeran R-22
3. Perpindahan panas akibat radiasi diabaikan
4. Perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konveksi pada aliran internal pipa dan konveksi alami
5. Temperatur air yang ingin dicapai adalah 45⁰C, temperatur keluar *water heater* adalah 50⁰C
6. Faktor kekasaran pada permukaan pipa diabaikan
7. Material *tube* adalah tembaga

8. Tidak ada penurunan tekanan (*pressure drop*) sepanjang *water heater*
9. Energi bangkitan (*heat generation*) diabaikan
10. Seluruh dinding penampungan air diisolasi
11. Pemodelan numerik disimulasikan menggunakan perangkat lunak FLUENT 6.3 dengan model geometri 2 dimensi

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pengetahuan dan informasi mengenai pemanfaatan energy panas yang tak terpakai dari sistem pendingin dan juga sebagai bahan referensi dalam perencanaan *water heater*.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian singkat mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dijelaskan mengenai dasar-dasar teori sebagai penunjang dalam melakukan studi eksperimen dan studi numerik. Selain itu, dalam bab ini dijelaskan mengenai penelitian terdahulu sebagai acuan dalam melakukan studi eksperimen dan studi numerik

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang langkah penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir, diagram alir perencanaan *water heater*, diagram alir pengambilan data, diagram alir pemodelan numerik

BAB IV ANALISIS DATA

Bab ini berisi data hasil eksperimen, hasil perhitungan, analisis data hasil eksperimen, dan analisis hasil studi numerik

BAB V KESIMPULAN

Bab ini berisi kesimpulan hasil studi eksperimen dan studi numerik yang telah dilaksanakan

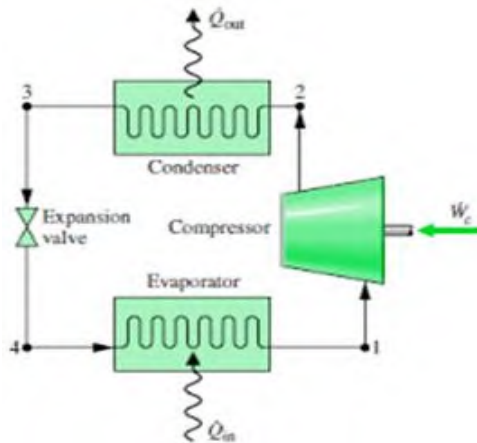
DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Kompresi Uap

Siklus kompresi uap merupakan salah satu siklus konversi energi yang banyak digunakan pada mesin pendingin. Pada metode ini terdapat 4 komponen utama yang berperan penting dalam menciptakan siklus kompresi uap. Skema utama dari siklus kompresi uap adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Skema Utama Siklus Kompresi Uap

Penjelasan dari skema siklus kompresi uap pada gambar diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

Proses 1-2: Refrigeran berfasa uap-jenuh ditekan oleh kompresi hingga menjadi uap bertekanan tinggi dan berubah fasa menjadi *superheated*. Hal tersebut diikuti dengan kenaikan temperature pada refrigeran dan proses ini terjadi secara isentropic (entropi konstan)

Proses 2-3: Uap refrigeran dalam kondisi fasa *superheated* tersebut akan masuk melewati kondensor dan mengalami pendinginan yang mengakibatkan terjadinya perubahan fasa pada refrigeran menjadi fasa cair-jenuh. Proses pendinginan tersebut terjadi

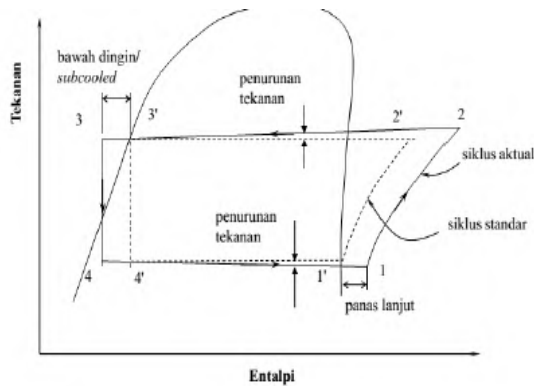
secara isobarik (tekanan konstan). Proses pendinginan terjadi karena adanya pertukaran panas dari dalam kondensor dengan udara luar atau air pendingin.

Proses 3-4: Refrigeran berfasa cair-jenuh tersebut masuk ke dalam katup ekspansi. Ekspansi terjadi melalui *throttle* secara isoenthalpi (entalpi konstan). Ekspansi mengakibatkan penurunan tekanan juga temperatur dan membuat refrigeran berubah fasa menjadi fasa campuran uap-cair.

Proses 4-1: Refrigeran berfasa campuran uap-cair akan menguap karena perpindahan panas. Pada umumnya udara dari ruang yang akan dikondisikan dihisap menggunakan fan melewati koil pendingin yang berisi refrigeran. Panas dari udara tersebut dipindahkan dari udara ke koil yang mengakibatkan refrigeran berfasa campuran uap-cair berubah fasa menjadi uap jenuh. Sementara udara yang keluar dari evaporator bertemperatur lebih rendah dari sebelumnya karena perpindahan panas

Refrigeran berfasa uap jenuh tersebut kemudian dihisap oleh kompresor dan begitu seterusnya hingga terjadi keseimbangan termal pada ruangan.

Pada kondisi sebenarnya, siklus kompresi uap tidak terjadi persis seperti yang dijelaskan sebelumnya. Berikut adalah gambar diagram P-h siklus kompresi uap secara teoritis dan siklus kompresi uap actual



Gambar 2.2 Diagram P-h Siklus Kompresi Uap Ideal dan Aktual

Langkah 1-2 / 1'-2' : Langkah kompresi isentropik, pada kondisi actual besarnya entropi bertambah

Langkah 2-3 / 2'-3' : Langkah kondensasi isobarik, pada kondisi sebenarnya ada penurunan tekanan

Langkah 3-4 / 3'-4' : Langkah ekspansi isoenthalpi

Langkah 4-1 / 4'-1' : Langkah evaporasi isobarik, pada kondisi sebenarnya ada penurunan tekanan

2.2 Komponen Utama Mesin Pendingin

Komponen-komponen utama dari mesin pendingin yang banyak digunakan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Kompresor

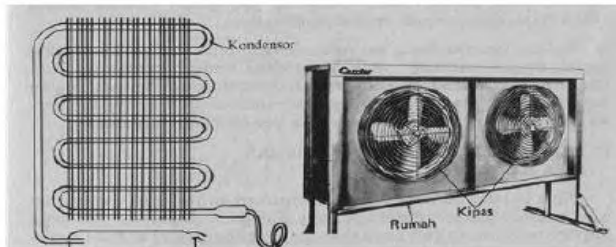
Kompresor bekerja dengan menghisap uap referigeran dari evaporator lalu mengompresikan uap referigeran tersebut sehingga tekanan dan temperature nya naik. Dengan adanya kompresi ini maka terjadi perbedaan tekanan antara sisi keluar (*discharge line*) dengan sisi hisap (*suction line*) yang menyebabkan refrigeran dapat mengalir dalam sistem refrigerasi. Referigeran adalah fluida kerja yang digunakan dalam mesin pendingin untuk menyerap panas dari ruangan. Berikut adalah salah satu contoh gambar dari kompresor yang digunakan pada sistem pendingin



Gambar 2.3 Kompresor

2. Kondensor

Kondensor bekerja dengan mengkondensasikan uap referigeran dari kompresor. Kondensasi pada mesin pendingin merupakan proses pengubahan referigeran berfasa *superheated* menjadi berfasa cairan-jenuh pada tekanan konstan. Kondensor berpendingin udara dapat berupa pipa bersirip-sirip, pipa tersebut didinginkan oleh udara luar yang dihembus fan supaya terjadi kondensasi pada referigeran. Berikut adalah contoh kondensor tipe pipa bersirip, rumah kondensor serta kipas untuk menghembuskan udara panas ke luar kondensor



Gambar 2.4 Kondensor

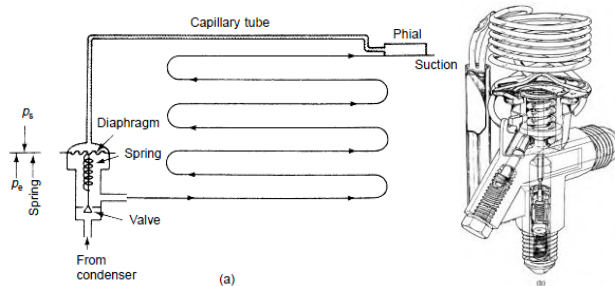
3. Katup Ekspansi

Katup ekspansi bekerja dengan mengekspansikan atau menurunkan tekanan fluida referigeran. Fluida referigeran yang semula berfasa cair-jenuh tekanannya menurun sehingga

berubah fasa menjadi fasa campuran uap-cair. Adapun berikut contoh dari jenis *expander* yang ada pada sistem pendingin

a) *Thermostatic Expansion Valve*

Thermostatic expansion valve (TXV) banyak digunakan sebagai alat ekspansi pada sistem pendingin. Katup ekspansi termostatik terdiri atas pegas, sebuah diafragma dan elemen sensor (*sensing bulb*) yang dipasang pada keluaran evaporator. Sensor tersebut akan terpengaruh oleh temperatur dari keluaran evaporator dan mendeteksi *superheat* pada keluaran evaporator. Bila *superheat* tinggi dan berindikasi evaporator kering maka *sensing bulb* yang di dalamnya terdapat cairan yang lebih tinggi titik penguapannya sehingga dapat menekan diafragma yang terhubung pegas untuk membuka katup lebih lebar. Begitu pula sebaliknya saat refrigeran berlebih atau *superheated* kurang maka penguapan pada *sensing bulb* akan berkurang sehingga mengangkat diafragma dan mencekik kembali katup. Berikut adalah rangkaian dan penampang pada *Thermostatic Expansion Valve*



Gambar 2.5 Rangkaian dan Penampang *Thermostatic Expansion Valve*

b) *Pipa Kapiler*

Pipa kapiler adalah suatu alat ekspansi paling sederhana yang mempunyai bukaan yang konstan. Prinsip kerja alat ekspansi ini memampatkan refrigeran pada pipa masukan pipa kapiler yang biasanya jauh lebih besar berdiameternya ke pipa kapiler yang diameter yang sangat kecil. Sehingga saat memasuki pipa kapiler dapat menurunkan tekanan refrigeran

yang disertai penurunan temperatur refrigeran yang akan masuk ke evaporator.



Gambar 2.6 Pipa kapiler

4. Evaporator

Evaporator bekerja sebagai tempat terjadinya pertukaran panas dari luar. Penyerapan kalor tersebut terjadi saat refrigeran yang mengalir pada evaporator dengan temperatur yang lebih rendah dari temperatur sekitarnya, sehingga panas dari lingkungan akan berpindah ke temperatur yang lebih rendah. Panas yang diserap tersebut membuat entalpi refrigeran akan meningkat dan membuat refrigeran berubah fasa dari campuran uap-cair menjadi uap jenuh. Evaporator ini disebut juga sebagai koil pendingin dan terdiri dari kumparan pipa bersirip.



Gambar 2.7 Evaporator AC *Split*

2.3 Analisa Perpindahan Panas

Pada perancangan *water heater* ini melibatkan adanya perbedaan temperature, akan terjadi perpindahan panas dari kedua kondisi tersebut. Perpindahan panas yang terjadi adalah

perpindahan panas secara *transient*, perpindahan panas konveksi alami, perpindahan panas konveksi di dalam tube.

2.3.1 Perpindahan Panas Transien

Dalam analisa perpindahan panas secara transien untuk memanaskan air perlu diketahui konsep persamaan energy terlebih dahulu. Pada kasus ini *energy balance* yang terjadi adalah energi yang diserap oleh air dan energi yang diberikan oleh *water heater*. Berikut uraian persamaan energi yang digunakan

$$Q_{HE} = Q_{air} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$m.C_p.\frac{dT_w(t)}{dt} = U.A.(T_{tube}-T_{air})\dots\dots\dots(2.2)$$

*) **Persamaan pada Panas yang Diberikan Water Heater (Q_{HE})**

$$Q_{HE} = U.A. \left(\frac{T_{tube\ inlet} + T_{tube\ outlet}}{2} \right) - T_{air(t)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Sesuai pada batasan masalah, bahwa selisih nilai antara T_{air} dan $T_{outlet\ water\ heater}$ adalah 5^0C , maka persamaanya menjadi:

$$Q_{HE} = U.A. \left(\frac{T_{tube\ inlet}}{2} + \frac{T_{air(t)} + 5}{2} - T_{air(t)} \right) \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Q_{HE} = U.A. \left(\frac{T_{tube\ inlet}}{2} + \frac{5}{2} - \frac{T_{air}}{2}(t) \right) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q_{HE} = \frac{UA}{2} ((T_{tube\ inlet} + 5) - T_{air(t)}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Selanjutnya adalah mencari fungsi turunan terhadap waktu:

$$Q_{HE} = \frac{U.A}{2} \cdot \left(\frac{d}{dt} \left[\varphi = \frac{d}{dt} (T_{tube\ inlet} + 5) - (T_{air(t)}) \right] \right) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$Q_{HE} = \frac{U.A}{2} \varphi$$

*) **Persamaan pada Panas yang Diserap oleh Air (Q_{air})**

$$\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) = - \left(\frac{dT_{air(t)}}{dt} \right) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\text{Maka, } Q_{air} = m.C_p.\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \dots\dots\dots(2.9)$$

Sehingga persamaan *energy balance* antara panas yang diberikan *water heater* dan air adalah:

$$Q_{HE} = Q_{air} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{UA}{2} \varphi = m.C_p.\left(\frac{d\varphi}{dt} \right) \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = - \frac{UA}{2.m.C_p} dt \dots\dots\dots(2.12)$$

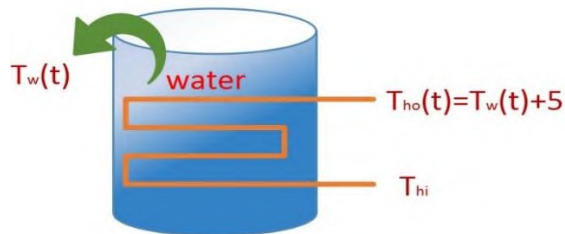
$$\int_{t=0}^t \frac{d\varphi}{\varphi} = - \frac{UA}{2.m.C_p} \int_{t=0}^t dt \dots\dots\dots (2.13)$$

Sehingga setelah proses integral, maka persamaanya menjadi:

$$\ln \frac{\varphi(t)}{\varphi(t=0)} = - \frac{UA}{2.m.C_p} t \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana: $\varphi(t) = (T_{\text{tube inlet}} + 5) - T_{\text{air}}(t)$

$\varphi(t=0) = (T_{\text{tube inlet}} + 5) - T_{\text{air awal}}$



Gambar 2.8 Proses Perpindahan Panas Secara Transien pada Air dan Water Heater

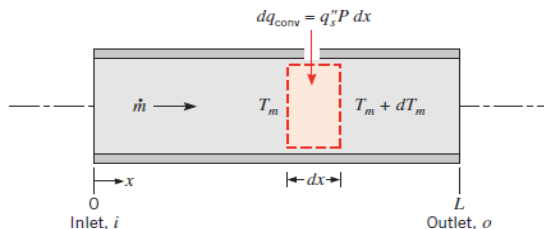
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi pada Aliran Internal Pipa

Dalam aplikasi kesetimbangan energi, perbedaan temperatur masuk dan temperatur keluar pipa dihubungkan dengan proses perpindahan panas secara konveksi

$$Q_{\text{konveksi}} = \dot{m} c_p (T_{o} - T_{in}) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\text{Atau: } Q_{\text{konveksi}} = \dot{m} (h_o - h_{in}) \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana h adalah entalpi



Gambar 2.9 Kontrol Volume pada Aliran Internal Pipa

Untuk perpindahan panas pada elemen seperti pada gambar 2.9 dimana P adalah parameter permukaan untuk *circular tube* dan $T_s > T_m$ maka:

$$\frac{dT_m}{dx} = \frac{P}{m c_p} h (T_s - T_m) \dots \dots \dots (2.17)$$

Untuk aliran laminar di dalam pipa, maka persamaan untuk mencari koefisien konveksi adalah sebagai berikut:

$$h = \frac{48}{11} \left(\frac{k}{D} \right) \text{ atau } Nu_D = \frac{hD}{k} = 4,36 \text{ dimana } q_s = \text{konstan}$$

sedangkan untuk temperature permukaan yang konstan $Nu_D = 3,66$

Pada aliran turbulen di dalam pipa dimana nilai $Re_D \geq 10000$ maka menurut Dittu-Boetler persamaan untuk mencari koefisien konveksi adalah sebagai berikut:

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{0,8} Pr^n \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana $n = 0,4$ untuk proses pemanasan dan $n = 0,3$ untuk proses pendinginan

2.3.3 Perpindahan Panas Konveksi Alami

Pada perancangan *water heater* ini terjadi juga perpindahan panas konveksi alami selain perpindahan pada aliran internal pipa. Perpindahan panas konveksi alami terjadi adanya pengaruh dari lingkungan sekitar pipa yaitu air. Perbedaan temperatur antara pipa dan air menyebabkan adanya perpindahan panas konveksi alami. Persamaan Rayleigh atau Bilangan Rayleigh merupakan tahap awal perhitungan dari perpindahan panas konveksi alami

$$Ra = \frac{g\beta(T_\infty - T_{air})}{\nu\alpha} \dots \dots \dots (2.19)$$

dimana: dengan : g = gaya gravitasi bumi ($9,8 \text{ m}^2/\text{s}$)

β = expansion coefficiency ($1/\text{K}$)

T_∞ = Temperatur masuk pada pipa (K)

ν = viskositas kinematic (m^2/s)

α = thermal difussity (m^2/s)

Pada tahap perhitungan bilangan Nusselt, ada 2 persamaan yang dapat dilakukan perhitungan. Pertama, persamaan Churchill dan Chu;

$$Nu = \left(0,6 + \frac{0,387 Ra^{1/6}}{(1 + (0,559/Pr)^{9/16})^{8/27}} \right)^2 \dots \dots \dots (2.20)$$

Persamaan Churchill dan Chu dipakai jika bilangan Rayleigh $\leq 10^{12}$. Selain persamaan Churchill dan Chu, persamaan untuk menghitung Bilangan Nusselt adalah persamaan Morgan;

$$Nu = C Ra^n \dots \dots \dots (2.21)$$

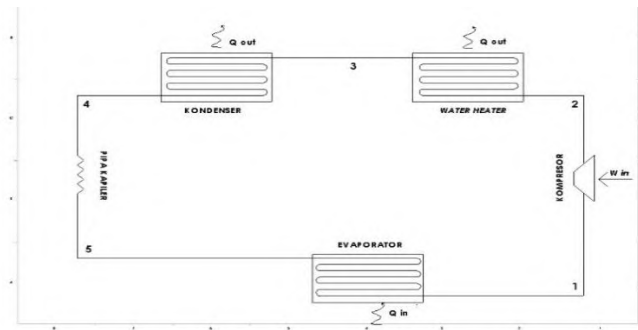
Dimana C dan n dapat diperoleh dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.1 Menentukan Konstanta C dan n dengan Memperhitungkan Bilangan Rayleigh

Ra_D	C	n
10^{-10} – 10^{-2}	0.675	0.058
10^{-2} – 10^2	1.02	0.148
10^2 – 10^4	0.850	0.188
10^4 – 10^7	0.480	0.250
10^7 – 10^{12}	0.125	0.333

2.4 Analisa Termodinamika

Pada eksperimen ini, analisis termodinamika diperlukan untuk mengetahui *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem pendingin AC *split* dengan pengaruh adanya *water heater* pada sistem pendingin tersebut. Skema keseluruhan sistem referigerasi dengan penambahan *water heater* adalah sebagai berikut



Gambar 2.10 Skema Sistem Referigerasi dengan Penambahan *Water Heater*

2.4.1 Kerja Ideal dan Kerja Nyata Kompresor

Unjuk kerja kompresor dapat diketahui dari kerja isentropis dan kerja nyata. Kerja nyata kompresor dapat diketahui dari daya yang diberikan kompresor. Daya tersebut dapat menghasilkan kenaikan tekanan dan temperatur pada keluaran juga masukkan kompresor, sehingga terjadi kenaikan entalpi. Sedangkan untuk kerja isentropis kompresor didapat dari nilai entropi pada saat masukan kompresor dikarenakan terjadi proses isentropis, maka nilai entropi saat masukan kompresor sama dengan nilai entropi keluaran kompresor. Selanjutnya dari nilai entropi tersebut didapat nilai entalpi keluaran kompresor secara isentropis. Sedangkan untuk nilai entalpi masukan kompresor diperoleh dari nilai tekanan atau temperature saat masuk ke kompresor. Berikut adalah persamaan untuk mencari kerja nyata kompresor

$$W_c = \dot{m}_{\text{ref}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}}) \dots\dots\dots(2.22)$$

Sedangkan persamaan untuk mencari kerja isentropis kompresor adalah

$$W_{\text{kompresor}} = \dot{m}_{\text{ref}} \times (h_{\text{out isentropis}} - h_{\text{in}}) \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana: $W_{\text{kompresor}}$ = daya kompresor (watt)
 \dot{m}_{ref} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
 h_{in} = entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)
 h_{out} = entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)
 $h_{\text{out isentropis}}$ = entalpi refrigeran keluar kompresor secara isentropis (kJ/kg)

2.4.2 Kalor yang Diserap Air

Kalor yang diserap air merupakan kalor yang diberikan oleh *water heater*. Kalor yang digunakan adalah kalor yang berasal dari keluaran kompresor pada sistem pendinginan AC *Split*. Untuk mencari kalor yang diserap air pada setiap waktu, berikut adalah persamaan yang digunakan

$$\dot{Q}_{\text{Air}} = \frac{m_{\text{air}} \times C_{p\text{air}} \times (T_{\text{air akhir}} - T_{\text{air awal}})}{t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana: m_{air} = massa air (kg)
 $C_{p\text{air}}$ = kalor jenis air (J/kg⁰C)
 $T_{\text{air awal}}$ = temperatur awal air (°C)
 $T_{\text{air akhir}}$ = temperatur akhir air (°C)
 $t_{\text{akhir}} - t_{\text{awal}}$ = waktu pemanasan air (s)

2.4.3 Kalor yang Dilepas oleh Kondensor

Kondensor merupakan alat pembuang kalor dari referigeran ke lingkungan, sehingga terdapat perbedaan temperatur pada sisi masukan dan keluaran, maka dapat diketahui besarnya panas yang berhasil dikeluarkan oleh referigeran. Berikut persamaan untuk mencari kalor yang dilepas oleh kondensor

$$Q_{\text{kondensor}} = \dot{m}_{\text{ref}} \times (h_{\text{in}} - h_{\text{out}}) \dots\dots\dots (2.25)$$

Dimana: \dot{m}_{ref} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
 h_{in} = entalpi refrigeran masuk kondensor (kJ/kg)
 h_{out} = entalpi refrigeran keluar kondensor (kJ/kg)

2.4.4 Kapasitas Pendinginan

Kapasitas pendinginan pada evaporator tergantung jumlah panas yang diserap referigeran saat melalui evaporator. Semakin besar panas yang diserap, maka temperatur keluaran semakin besar. Untuk menghitung besarnya kapasitas pendinginan, berikut adalah persamaannya

$$Q_{\text{evaporator}} = \dot{m}_{\text{ref}} \times (h_{\text{out}} - h_{\text{in}}) \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana: \dot{m}_{ref} = laju aliran massa refrigeran (kg/s)
 h_{out} = entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)
 h_{in} = entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

2.4.5 Coefficient of Performance (COP)

Coefficient of Performance dari sebuah sistem referigerasi merupakan efisiensi sistem atau rasio ketetapan dari perbandingan kalor yang diserap sebagai energy yang termanfaatkan dengan energy yang digunakan sebagai kerja, atau berdasarkan teori sederhananya ditulis:

$$\text{COP} = \frac{\text{Energi Termanfaatkan}}{\text{Energi yang Digunakan untuk Siklus Daya}} \dots\dots\dots(2.25)$$

Secara aktualnya pada sistem pendingin yaitu perbandingan antara efek referigerasi dengan kerja dari kompresor

$$\text{COP} = \frac{\text{Efek Referigerasi}}{\text{Kerja Kompresor}} = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{kompresor}}} \dots\dots\dots(2.26)$$

2.5 Pemodelan pada Fluent

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan perangkat analisa dengan berdasarkan pada persamaan kontinuitas, momentum dan energy. Metode ini sering digunakan sebagai proses simulasi *thermofluid* untuk menyelesaikan berbagai permasalahan *engineering*. Dalam menggunakan metode ini, perlu adanya pemahaman mendalam tentang fenomena fluida dan perpindahan panas. Hal tersebut bertujuan agar hasil dari simulasi yang dilakukan cukup merepresentasikan kondisi secara nyata. Dalam melakukan proses simulasi ini, diperlukan tiga langkah dasar yaitu *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

Pada tahap *pre-processing*, langkah pertama yang dilakukan adalah pembuatan geometri model. Geometri model harus sesuai dengan dimensi serta parameter lain pada kondisi nyata. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah membagi-bagi *domain* pemodelan yang telah dibuat menjadi bagian-bagian kecil (*grid*). Pada umumnya proses ini dinamakan *meshing*. Bagian bagian kecil dari domain ini akan dilakukan dilakukan perhitungan secara numeric oleh perangkat lunak dengan berdasarkan pada tiga

persamaan diatas. Kualitas dari hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas *meshing*. Langkah yang dilakukan selanjutnya adalah pemberian kondisi batas (*boundary condition*) misalnya seperti *wall*, *mass flow rate*, *velocity inlet*, *pressure inlet*, *outflow*. Pemberian kondisi batas ini perlu dilakukan untuk mendefinisikan domain yang telah dibuat. Keseluruhan tahapan pada *pre-processing* tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GAMBIT.

Pada tahap selanjutnya adalah *processing* yang merupakan tahap simulasi pada domain pemodelan yang telah dibuat. Keseluruhan tahap ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak FLUENT. Pada tahap *processing*, langkah yang harus dilakukan adalah memberikan beberapa parameter yang digunakan untuk proses simulasi. Beberapa parameter tersebut yaitu:

1. Pemilihan Model

Pada pemilihan model simulasi, terdapat beberapa pilihan pengaturan, yaitu pemodelan tiga dimensi dan dua dimensi dengan jenis *double precision*. Jenis *double precision* dipilih jika domain yang akan disimulasikan memiliki geometrid an ukuran yang kompleks serta tidak memiliki gradasi dimensi yang sangat tinggi

2. *Solver*

Pada pengaturan *solver*, terdapat pengaturan tentang jenis basis dari simulasi. Basis tekanan dapat dipilih jika fluida pada simulasi diasumsikan tidak mengalami perubahan *density*. Bila *density* fluida diasumsikan berubah saat proses simulasi, maka basis yang dipilih harus basis *density*

3. *Viscous*

Pada pemilihan *viscous*, terdapat beberapa jenis aliran yaitu laminar dan k-epsilon. Pemilihan jenis aliran tersebut didasari dari nilai bilangan Reynold. Jika bilangan Reynold kurang dari 2300 maka aliran tersebut adalah laminar, maka viscous yang dipilih adalah laminar, sedangkan untuk bilangan Reynold lebih dari 2300 aliran tersebut adalah turbulen maka viscous yang dipilih adalah k-epsilon.

4. *Energy Equation*

Pengaturan *energy equation* dapat diaktifkan bila simulasi yang dilakukan membutuhkan adanya perhitungan persamaan energy. Perhitungan persamaan energi perlu dilakukan pada simulasi yang memerlukan adanya analisis tentang distribusi perpindahan panas.

5. *Materials*

Pada pengaturan *materials*, terdapat pengaturan tentang material fluida dan material solid yang digunakan pada saat simulasi berlangsung. Jenis dan *properties* material harus sesuai dengan kondisi operasi nyata agar simulasi yang dilakukan menghasilkan data-data yang akurat.

6. *Operating Condition*

Pada menu *operating condition*, terdapat pengaturan tentang tekanan yang ada di dalam sistem. Besarnya nilai tekanan tersebut harus sesuai dengan kondisi realita yang ada.

7. *Boundary Condition*

Pada menu *boundary condition*, terdapat pengaturan tentang pemberian nilai dari hasil pemberian kondisi batas pada tahap *pre-processing*.

8. *Control Monitoring dan Residual Solution*

Pada menu *control monitoring* dan *residual solution*, terdapat pengaturan tentang jenis perhitungan numeric seperti *first order upwind* dan *second order upwind*. Selain itu, pada menu ini juga dilakukan pengaturan tentang pembatasan nilai error yang diterima dari hasil proses perhitungan. Semakin kecil batas error yang diterima, maka hasil proses simulasi yang diperoleh juga akan semakin akurat.

9. *Initialize Condition*

Pada menu *initialize condition*, terdapat pengaturan tentang nilai awal dari proses perhitungan. Nilai awal dari proses perhitungan secara numerik ini dapat dilakukan dari berbagai tempat pada domain.

10. *Iteration*

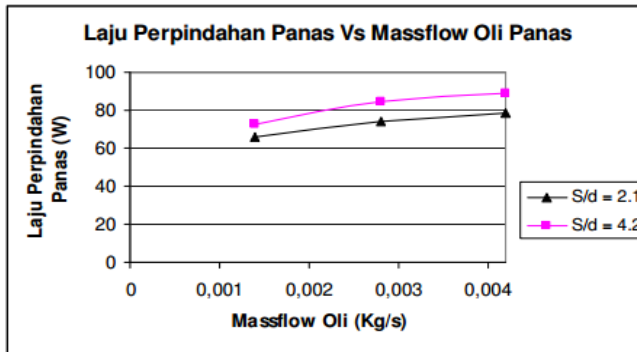
Langkah terakhir proses pengaturan simulasi ini adalah *iteration*. Pada menu ini terdapat pengaturan tentang batasan jumlah iterasi yang dilakukan. Proses iterasi ini kan berhenti bila *error* hasil perhitungan telah memenuhi kriteria dari hasil pengaturan pada tahap *control monitoring* dan *residual solution*.

Tahap selanjutnya yaitu *post-processing*. Pada tahap ini, dilakukan analisis dari hasil simulasi secara keseluruhan. Data yang dihasilkan dapat ditampilkan secara kualitatif dari hasil kontur simulasi. Selain itu, hasil proses simulasi juga dapat ditampilkan secara kuantitatif seperti *Nusselt Number*, *Surface Coefficient Heat Transfer*. Dari kedua jenis data ini, analisis yang dilakukan akan semakin akurat, sehingga karakteristik aliran dan perpindahan panas akan mudah dilakukan

2.6 Penelitian Terdahulu

2.6.1 Ary Bachtiar (2004)

Penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Beban Panas terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Vertical Channel” bertujuan untuk memahami pengaruh beban panas dan pengaruh *gap ratio* terhadap karakteristik laju perpindahan panas pada *heat exchanger*. Uji eksperimental dilakukan dengan *gap ratio* ($S/d = 2,1$ dan $4,2$) dan variasi laju alir massa dari $0,0014 \text{ kg/s}$; $0,0028 \text{ kg/s}$; $0,0042 \text{ kg/s}$.

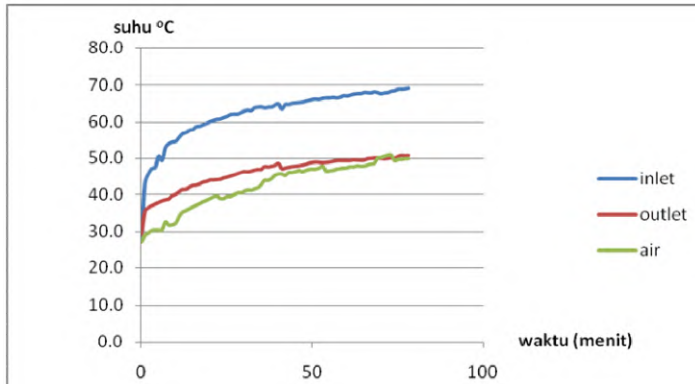


Gambar 2.12 Grafik Laju Perpindahan Panas Jajaran Silinder pada Variasi Laju Alir Massa Oli

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa laju perpindahan total pada *heat exchanger* semakin tinggi dengan semakin meningkatnya beban panas. Laju perpindahan panas total pada *heat exchanger* semakin meningkat dengan semakin besarnya *gap ratio*.

2.6.2 Daniel Santoso (2013)

Penelitian yang berjudul “Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal melakukan eksperimen dengan pengisian air ke tangki sebanyak 40 liter diperoleh hasil eksperimen sebagai berikut



Gambar 2.13 Grafik Hasil Eksperimen Fungsi Temperatur terhadap Waktu

Pada grafik diatas, inlet merupakan temperature masukkan *heat exchanger*, outlet merupakan temperature keluaran *heat exchanger*, dan air merupakan temperature air yang dipanaskan. Pada waktu awal, temperature inlet *heat exchanger* memiliki temperature tertinggi dibandingkan pada outlet dan temperature air. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa semua temperatur memiliki trend naik. Pada, didapat temperatur inlet maksimum 69°C , outlet $50,9^{\circ}\text{C}$ dan air 50°C . Temperatur maksimum tersebut didapat setelah eksperimen dilakukan selama 68 menit. Pada grafik diatas juga menunjukkan bahwa temperatur air pada kondisi maksimum mendekati temperatur maksimum outlet *heat exchanger*

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Penelitian

Langkah-langkah analisis pada penelitian ini dilakukan berdasarkan tujuan penelitian. Berikut langkah-langkah penelitian yang dijelaskan dalam bentuk diagram alir



Gambar 3.1 Diagram alir langkah penelitian

3.1.1 Perumusan Masalah

Langkah pertama dari langkah analisis adalah perumusan masalah. Perumusan masalah merupakan penjabaran dari identifikasi masalah dan pembatasan maslahan. Hal tersebut diperlukan untuk membentuk kerangka dalam menyusun rencana penyelesaian, termasuk merancang metode atau teknik pendekatan yang tepat untuk digunakan sebagai langkah–langkah dalam penelitian yang selanjutnya ditentukan tujuan dari penelitian ini.

3.1.2 Studi Literatur

Setelah merumuskan masalah studi literatur dalam sebuah penelitian dilakukan untuk mendapatkan gambaran yang menyeluruh tentang apa yang sudah dikerjakan orang lain dan bagaimana orang mengerjakannya, kemudian seberapa berbeda penelitian yang akan kita lakukan.

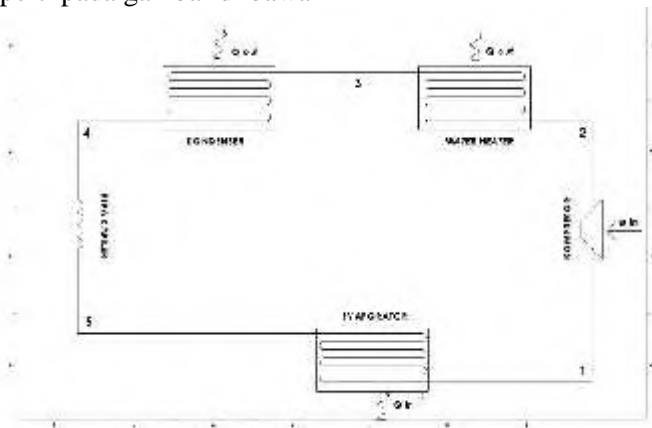
3.1.3 Pemodelan dan Simulasi

Sebelum tahap perencanaan dan perancangan eksprimen, dilakukan terlebih dahulu pemodelan dan simulasi. Tujuan dari pemodelan dan simulasi ini adalah mengetahui karakteristik perpindahan panas dari pengaruh ST/D pada tube *water heater*. Proses pemodelan dan simulasi dilakukan secara bertahap. Tahapan pertama adalah *pre-processing* yaitu pembuatan geometri *water heater*. Parameter untuk pembuatan geomteri *water heater* diantaranya adalah panjang *tube*, jarak antar *tube*. Selanjutnya mencari temperatur setiap *tube* untuk dimasukkan ke dalam proses simulasi. Tahapan kedua adalah *processing* yaitu memasukkan properties, data, dan kondisi yang diperlukan untuk proses simulasi. Tahap terakhir yang dilakukan adalah *post-processing* untuk menampilkan hasil simulasi berupa kontur distribusi temperatur. *Processing* dan *post-processing* dilakukan pada *software* FLUENT.

3.1.4 Perencanaan dan Perancangan Peralatan Eksperimen

Sebelum memulai eksperimen, terlebih dahulu dilakukan persiapan peralatan yaitu merencanakan dan merancang peralatan yang akan digunakan dalam eksperimen. Hal tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa alat tersebut dalam kondisi baik untuk pengambilan data

Pada gambar 3.2 merupakan sistem AC dengan penambahan *water heater* yang digunakan dalam eksperimen ini. Pada eksperimen ini, komponen pada sistem AC tersebut diantaranya adalah AC Indoor, AC Outdoor, kompresor dan pipa kapiler. Adapun skema sistem AC dengan penambahan *water heater* yang lengkap seperti pada gambar di bawah ini



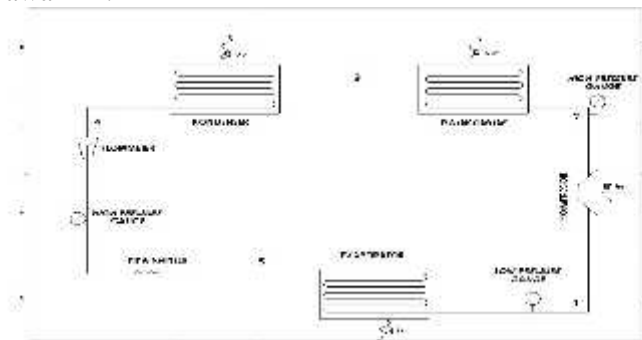
Gambar 3.2 Skema Sistem AC dengan *Water Heater*



Gambar 3.3 Peralatan Sistem AC dengan Penambahan *Water Heater*

3.1.4 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dalam penyelesaian permasalahan. Data yang didapatkan berupa temperatur dan tekanan pada setiap titik yang ditentukan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.4 Titik Pengukuran untuk Pengambilan Data

3.1.5 Pengolahan Data

Setelah diperoleh data dari hasil percobaan, maka data tersebut dapat dilihat dari perubahan temperatur air terhadap waktu. Selain itu, pengolahan data dilakukan dengan cara menghitung kalor yang diserap oleh air, menghitung kerja isentropis kompresor dan kerja nyata kompresor, menghitung kalor yang terbuang pada kondensor, menghitung kapasitas pendinginan, dan menghitung *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem AC.

3.1.6 Menganalisa dan Mengamati Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan diatas dapat diketahui karakteristik perpindahan panas pada *water heater* pada $ST/D = 4$, dan pengaruh penambahan *water heater* pada *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem AC.

3.1.7 Pengambilan Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan berdasarkan hasil karakteristik perpindahan panas pada *water heater* dengan $ST/D = 4$ pada susunan vertikal. Sehingga dapat dijadikan acuan untuk pengembangan jenis *water heater* lainnya atau macam-macam variasi untuk penelitiannya selanjutnya

3.2 Perencanaan *Water Heater*

Perencanaan *water heater* diperlukan agar eksperimen dilakukan secara efisien baik dari segi waktu ataupun bahan dan alat yang akan digunakan. Perencanaan *water heater* ini dimulai dengan mencari temperatur dari keluaran kompresor untuk mencari potensi panas yang bisa diberikan terhadap air. Selanjutnya adalah mencari waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air sampai temperatur 45°C . Kemudian terakhir adalah mencari panjang tube yang sesuai untuk memanaskan air tersebut berdasarkan analisa perpindahan panas

3.2.1 Mencari Temperatur Keluaran Kompresor

Pemanas air ini, terletak setelah refrigerant melewati kompresor, sehingga dibutuhkan data temperatur masuk kompresor juga temperature keluar kompresor. Data temperatur keluar kompresor diperoleh dari pengujian sistem AC split standar tanpa *water heater* berikut hasil data pengujian untuk mengetahui temperatur kompresor:

-) Temperatur keluar evaporator (T1) = 19,2⁰C
-) Temperatur keluar kompresor (T2) = 90,2⁰C
-) Temperatur keluar kondensor (T3) = 38,5⁰C
-) Temperatur keluar pipa kapiler (T4) = 8,2⁰C
-) Tekanan *Suction* (P1) = 64 psi
-) Tekanan *Discharge* (P2) = 233 psi
-) Tekanan keluar kondensor (P3) = 230 psi
-) Arus Listrik = 3 Ampere
-) Tegangan Listrik = 220 Volt
-) Cos ϕ = 0,935
-) \dot{m}_F = 0,0125 kg/s

Data diatas diperoleh sampai keadaan *steady*

3.2.2 Mencari Kapasitas Kalor *Water Heater*

Kapasitas kalor *water heater* diperoleh dari data temperatur keluaran dari kompresor dan data keluaran *water heater* ditentukan sebesar 50⁰C karena sesuai pada batasan masalah bahwa temperature keluaran *water heater* diharapkan memiliki selisih 5⁰C dengan temperature akhir air setelah pemanasan. Berikut adalah perhitungan untuk mencari kapasitas kalor *water heater*:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{water heater}} &= \dot{m}_F \cdot (h_{\text{out kompresor}} - h_{\text{out water heater}}) \\
 &= 0,0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (458,82 - 423,98) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\
 &= 0,4335 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \\
 &= 435,5 \text{ W}
 \end{aligned}$$

dengan: $Q_{water\ heater}$ = kapasitas kalor *water heater* (W)

\dot{m}_r = laju alir massa refrigerant ($\frac{kg}{s}$)

$h_{out\ kompresor}$ = entalpi keluaran kompresor ($\frac{kJ}{kg}$)

$h_{out\ water\ heater}$ = entalpi keluaran *water heater* ($\frac{kJ}{kg}$)

Nilai entalpi masing-masing diperoleh dari data temperatur, kemudian dicari nilai entalpi pada tabel termodinamika jenis refrigerant R-22.

3.2.1 Perhitungan waktu pemanasan air

Pada perhitungan waktu pemanasan air, hal yang perlu diperhatikan adalah kapasitas volume bak, temperature akhir air yang diinginkan dan temperatur awal air, juga kapasitas pendinginan pada AC. Berikut persamaan untuk perhitungan waktu pemanasan air:

$$t = \frac{m \cdot C_p \cdot (\Delta T)}{Q}$$

$$t = \frac{1 \text{ kg} \cdot 4 \frac{J}{kg \cdot K} \cdot (3 - -3) K}{4,5 \frac{J}{s}}$$

$$t = 14397,24 \text{ s}$$

$$t = 4 \text{ jam}$$

dengan: t = waktu pemanasan air (s)

m = jumlah air yang dipanaskan (kg)

C_p = kalor jenis air (J/kg K)

Q = kapasitas kalor *water heater* (J/s)

ΔT = selisih temperatur air yang ingin dicapai dan temperatur awal air (K)

3.2.2 Perhitungan Panjang Pipa

Untuk menghitung panjang pipa yang diharapkan untuk pemanas air, parameter yang dibutuhkan adalah *Overall* Perpindahan Panas (U). Pada perhitungan ini, perpindahan panas secara konduksi pada pipa dapat diabaikan karena tebal pipa dianggap tipis, sehingga *Overall* Perpindahan Panas (U) terdiri dari perpindahan panas dari konveksi pada aliran internal pipa juga

konveksi alami dari air. Berikut tahapan untuk menghitung panjang pipa

a) Perhitungan Koefisien Konveksi pada Aliran Internal Pipa

Pada perhitungan aliran internal pada pipa, ada beberapa tahap yang dilakukan yaitu menentukan temperature masuk dan keluar kompresor, perhitungan bilangan reynold, dan terakhir adalah perhitungan bilangan Nusselt. Berikut adalah perhitungan lengkap konveksi pada aliran internal di dalam pipa. Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan terlebih dahulu mencari properties yang dibutuhkan untuk proses perhitungan. Mencari properties untuk proses perhitungan menggunakan *software* Refprop.

-) Properties Referigerant R-22

Properties Referigerant R-22 ini diperoleh dari temperature film antara Temperatur outlet kompresor dan Temperatur *Water Heater*.

$$T_{\text{film}} = \frac{T_D + T_{\text{out}}}{2}$$

$$T_{\text{film}} = \frac{5 + 9}{2}$$

$$T_{\text{film}} = 70^{\circ}\text{C}$$

Properties Referigerant ini digunakan untuk menghitung analisa perpindahan panas pada aliran internal tube. Berikut adalah tabel properties untuk refrigerant R-22

Tabel 3.1 Properties R-22



Temperature [°C]	Pressure [atm]	Density [kg/m³]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/kg·K]	Heat Capacity [kJ/kg·K]	Viscosity [Pa·s]	Thermal Conductivity [W/m·K]	Prandtl
70	1.01325	1204.2	241.1	0.914	0.144	0.000140	0.0256	0.72

-) Menghitung Bilangan Reynolds

Persamaan untuk menghitung bilangan Reynolds yaitu:

$$Re = \frac{\dot{m}}{\pi D}$$

$$Re = \frac{4.0,0 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\pi \cdot 5,5 \times 10^{-2} \text{m} \cdot 1,4 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{s}}$$

$$Re = 117475,4171$$

dengan: \dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

D = diameter pipa (m)

μ = Viskositas Dinamik (Pa-s)

-) Menghitung Bilangan Nusselt

Tahapan selanjutnya untuk mendapatkan besarnya konveksi pada aliran internal pada pipa adalah menghitung bilangan Nusselt. Besarnya bilangan $Re > 4300$, maka aliran internal pada pipa adalah aliran turbulen. Berikut adalah persamaan untuk menghitung bilangan Nusselt

$$Nu = 0,0265 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{0,3}$$

$$Nu = 0,0265 \cdot (117475,4171)^{4/5} \cdot 0,916^{0,3}$$

$$Nu = 293,61$$

Dimana Pr adalah bilangan Prandtl

-) Menghitung Koefisien Konveksi pada Aliran Internal Pipa (h_i)

Berikut adalah bentuk persamaan untuk menghitung aliran internal pada pipa:

$$h_i = \frac{N \cdot k}{L}$$

$$h_i = \frac{2 \cdot 0,3 \cdot 0,0 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{5,5 \times 10^{-2} \text{m}}$$

$$h_i = 443,88 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Dimana k adalah konduktivitas thermal dari refrigerant R-22

b) Perhitungan Koefisien Konveksi Alami

Konveksi alami terjadi pada air yang berada dalam bejana atau di luar pipa. Hal tersebut menjadi pertimbangan dalam menghitung perencanaan panjang pipa pemanas air pada eksperimen. Tahapan perhitungan koefisien konveksi alami diantaranya adalah menghitung bilangan Rayleigh, menghitung bilangan Nusselt, dan terakhir perhitungan koefisien konveksi alami. Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan terlebih dahulu mencari properties yang dibutuhkan untuk proses perhitungan. Mencari properties untuk proses perhitungan menggunakan *software* Refprop

-) Properties Air

Properties Refrigerant R-22 ini diperoleh dari temperature film antara Temperatur film *water heater* dan Temperatur air pada tangki.

$$T_{\text{film}} = \frac{T_f + T_w + T_a}{3}$$

$$T_{\text{film}} = \frac{7 + 3}{2}$$

$$T_{\text{film}} = 50^{\circ}\text{C}$$

Berikut adalah tabel properties untuk air

Tabel 3.2 Properties Air

	Temperature (K)	Pressure (MPa)	Density (kg/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg.K)	Thermal Diff. (m ² /s)	Viscosity (Pa.s)	Thermal Cond. (W/m.K)	Thermal Exp. (1/K)	Prandtl
1	500.0	0.1013	9.007	2700.	6.901	0.0002	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004

-) Menghitung Bilangan Rayleigh

Sebelum menghitung bilangan Rayleigh, data properties yang dibutuhkan untuk perhitungan dicari terlebih dahulu. Hal tersebut berlaku juga untuk menghitung bilangan Nusselt pada tahap berikutnya.

Berikut adalah persamaan yang dipakai untuk menghitung bilangan Rayleigh:

$$Ra = \frac{g\beta(T_{\infty} - T)D^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra = \frac{9,8 \, \text{m/s}^2 \cdot 4,5 \times 10^{-4} \, \text{K}^{-1} \cdot (3 - 3) \, \text{K} \cdot (4,5 \times 10^{-3} \, \text{m})^3}{5,5 \times 10^{-7} \, \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 1,5 \times 10^{-7} \, \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Ra = 1,79 \times 10^6$$

dengan : g = gaya gravitasi bumi ($9,8 \, \text{m/s}^2$)

β = expansion coefficient ($1/\text{K}$)

T = Temperatur masuk pada pipa (K)

ν = viskositas kinematic (m^2/s)

α = thermal difussity (m^2/s)

-) Menghitung Bilangan Nusselt

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung bilangan Nusselt pada proses konveksi alami

$$Nu = C.Ra^n$$

$$Nu = 0,48.(1,79 \times 10^6)^{0,25}$$

$$Nu = 17,56$$

dengan C dan n diperoleh dari tabel

-) Menghitung Koefisien Konveksi Alami (h)

Berikut adalah bentuk persamaan untuk menghitung koefisien konveksi alami

$$h_o = \frac{N \cdot k}{D}$$

$$h_o = \frac{17,56 \cdot 0,6 \, \frac{\text{W}}{\text{m.K}}}{4,5 \times 10^{-3} \, \text{m}}$$

$$h_o = 1187,6 \, \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

c) Perhitungan Overall Perpindahan Panas

Berikut adalah perhitungan untuk Overall Perpindahan Panas:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{4,8 \frac{W}{m^2.K}} + \frac{1}{1,6 \frac{W}{m^2.K}}}$$

$$U = 323,11 \frac{W}{m^2.K}$$

d) Perhitungan Luas Pipa (A)

Setelah diperoleh koefisien konveksi aliran internal pada pipa dan koefisien konveksi alami pada pipa, maka tahap selanjutnya adalah menghitung luas pipa. Berikut adalah bentuk persamaan untuk menghitung luas pipa:

$$A = \frac{11 \frac{T_{+5} - T_a}{T_{+5} - T_a}}{\frac{2 \cdot C \cdot a}{U \cdot t}}$$

$$A = \frac{11 \frac{9 - 3}{9 - 3} (C)}{\frac{3,1 \frac{W}{m^2.K} \cdot 1,33}{2,1 \frac{K}{s} \cdot 4 \frac{1}{K \cdot C}}}$$

$$A = 0,04715 \text{ m}^2$$

dimana: T_{hi} = Temperatur Masukan *Water Heater* ($^{\circ}\text{C}$)

U = Overall Perpindahan Panas ($\frac{W}{m^2.K}$)

t = Waktu pemanasan air (s)

m = Massa air dalam bak (kg)

e) Perhitungan Panjang Pipa

Panjang pipa diperoleh dengan persamaan luas selimut tabung, yaitu:

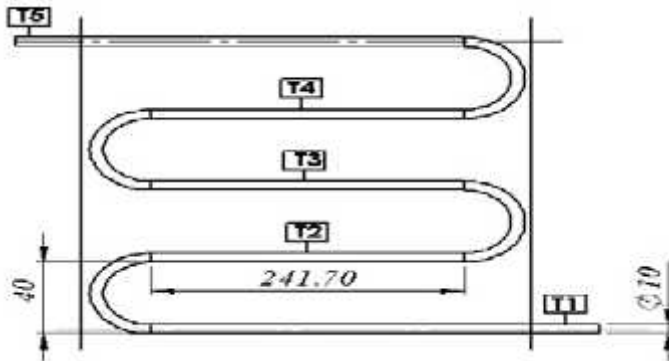
$$L = \frac{A}{\pi D}$$

$$L = \frac{0,0 \text{ m}^2}{\pi 4,5 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$L = 1,58 \text{ m}$$

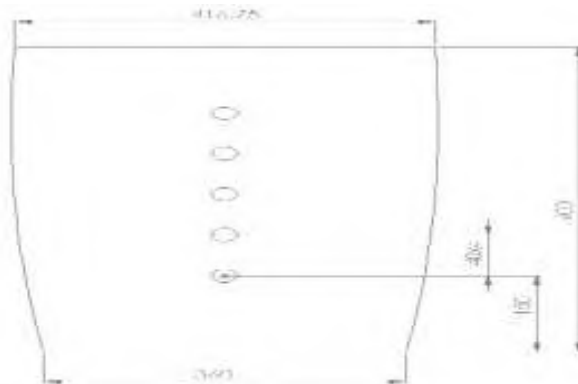
3.2.3 Geometri *Water Heater*

Pembuatan geometri *water heater* meliputi diameter tube (D), panjang pipa per laluan, dan jarak antar *tube water heater*



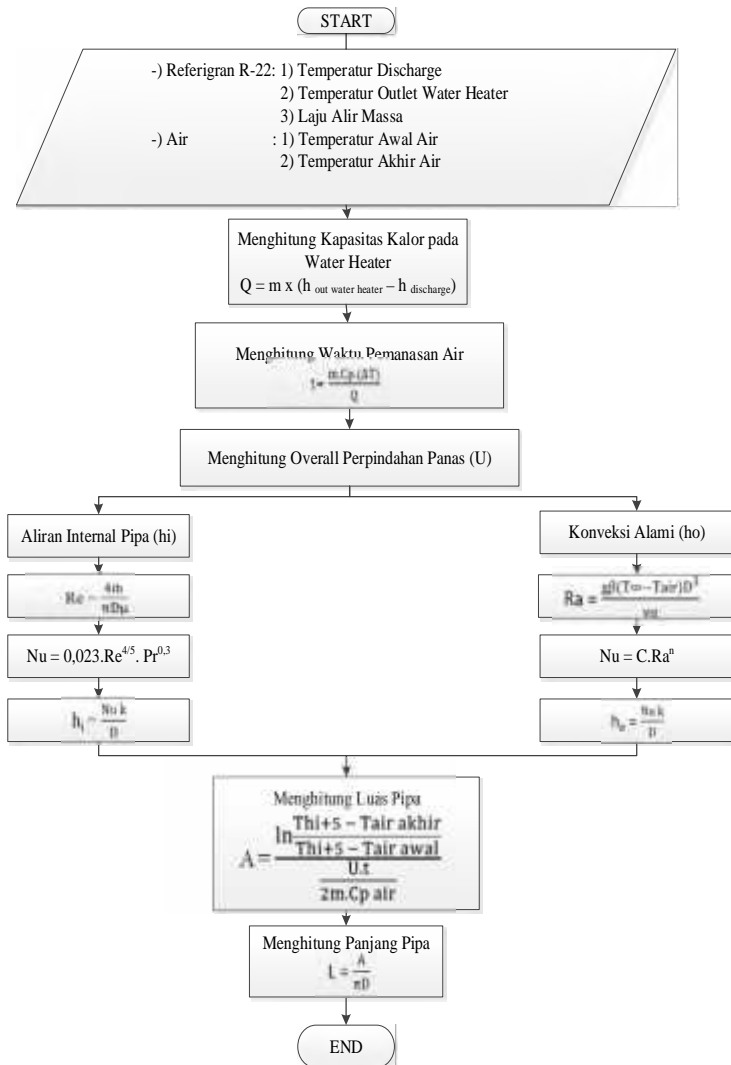
Gambar 3.5 Bentuk Perencanaan *Water Heater*

Geometri 2 dimensi juga dibuat untuk mempermudah penentuan ST/D. ST/D yang diterapkan pada perencanaan *water heater* ini adalah 4. Jarak antar tube yaitu sebesar 40 mm dan diameter tube 10 mm.



Gambar 3.6 Dimensi *Water Heater* dan Tangki Air

3.3 Diagram Alir Perancangan *Water Heater*



Gambar 3.7 Diagram Alir Perancangan *Water Heater*

3.4 Tahapan Simulasi

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi numeric untuk mengetahui karakteristik perpindahan panas di sekitaran luar tube. Di sekitar tube, terjadi distribusi perpindahan panas antara panas yang dilepaskan oleh *water heater* terhadap air. Simulasi numerik adalah sebuah proses simulasi berbasis perhitungan yang dilakukan oleh sebuah perangkat lunak computer dengan mendefinisikan parameter-parameter yang sesuai dengan *boundary conditions*, dilanjutkan proses iterasi hingga mencapai konvergensi untuk mendapatkan nilai pendekatan yang signifikan. Pada proses numeric terbagi menjadi 3 tahapan yakni *pre-processing*, *processing*, dan *post-processing*.

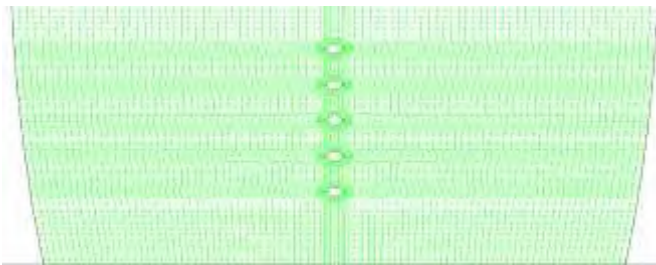
3.4.1 Pre-Processing

1. Pembuatan Model

Model awal yang akan dibuat adalah bentuk susunan *tube water heater* dalam keadaan tertutup oleh tanki yang terisi penuh oleh air. Pemodelan geometri dibuat dalam 2 dimensi Berikut adalah geometri awal yang dibuat;

2. Pembuatan *Meshing*

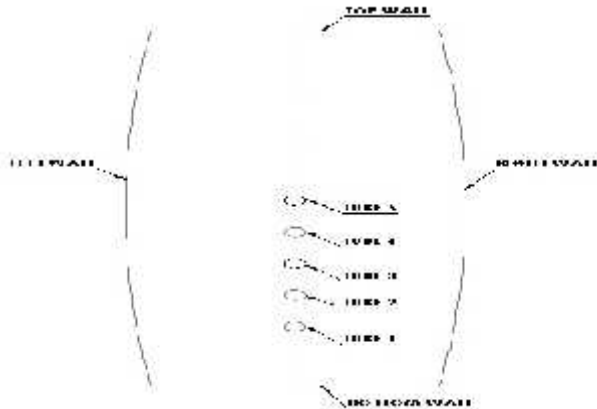
Pembuatan *dilakukan* berdasarkan geometri yang telah dibuat seperti pada pembuatan geometri awal. *Mesh* yang digunakan adalah jenis *Quad-Map*. Fenomena dan karakteristik yang akan dianalisa adalah distribusi temperatur pada tanki air. *Meshing* untuk pemodelan *water heater* ditunjukkan pada gambar di bawah ini



Gambar 3.8 Meshing dengan Bentuk Quad-Map

3. Penentuan *Boundary Condition* yang digunakan

Setelah pembuatan geometri dan proses *meshing*, dilakukan proses penentuan *boundary condition*. Berikut kondisi batas pada pemodelan ini



Gambar 3.9 *Boundary Condition*

Pada seluruh dinding tanki dikondisikan sebagai *wall* dengan dinding adiabatik, sedangkan untuk *tube* dikondisikan sebagai *wall* dengan memasukkan data temperatur. Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan data temperatur yang akan disimulasikan. Sebelum mencari temperatur pada setiap stage, maka harus dihitung terlebih dahulu nilai temperatur keluaran *water heater* pada waktu awal. Berikut adalah langkah menghitung dari temperatur awal *water heater*:

$$Th_{O(awal)} = \frac{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}C + \left(\frac{50}{2}\right)^{\circ}C + 45^{\circ}C}{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}C + \left(\frac{Th_{O(awal)}}{2}\right)^{\circ}C + 3^{\circ}C} = \frac{375.11 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} \cdot 0.04715 \text{ m}^2 \cdot 145070}{100 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$Th_{O(awal)} = 54,513^{\circ}C$$

Langkah selanjutnya adalah mencari temperatur setiap stage, dimana temperatur stage 1 adalah temperatur *inlet* sebesar $90^{\circ}C$ dan temperatur outlet yaitu sebesar $50^{\circ}C$. Berikut adalah langkah perhitungannya:

➤ Stage 2

$$\frac{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h2}(t)}{2}\right) + T_{w(t)}}{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h2}(avg)}{2}\right) + T_{w(avg)}} = \exp \frac{U \pi d L t}{3 m c_p}$$

$$\frac{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{T_{h2}(t)}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 45^{\circ}\text{C}}{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{54.523}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}} = \exp \frac{222.11 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} \cdot \pi \cdot 0.006525 \text{ m} \cdot 0.75 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 1.0367 \text{ s}}{100 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$T_{h2}(t) \text{ stage 2} = 72.25^{\circ}\text{C}$$

➤ Stage 3

$$\frac{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h3}(t)}{2}\right) + T_{w(t)}}{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h3}(avg)}{2}\right) + T_{w(avg)}} = \exp \frac{U \pi d L t}{m c_p}$$

$$\frac{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{T_{h3}(t)}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 45^{\circ}\text{C}}{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{54.523}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}} = \exp \frac{222.11 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} \cdot \pi \cdot 0.006525 \text{ m} \cdot 0.75 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 1.4397 \text{ s}}{100 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$T_{h3}(t) \text{ stage 3} = 65^{\circ}\text{C}$$

➤ Stage 4

$$\frac{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h4}(t)}{2}\right) + T_{w(t)}}{\left(\frac{T_{h1}}{2}\right) + \left(\frac{T_{h4}(avg)}{2}\right) + T_{w(avg)}} = \exp \frac{U \pi d L t}{m c_p}$$

$$\frac{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{T_{h4}(t)}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 45^{\circ}\text{C}}{\left(\frac{90}{2}\right)^{\circ}\text{C} + \left(\frac{54.523}{2}\right)^{\circ}\text{C} + 30^{\circ}\text{C}} = \exp \frac{222.11 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1} \cdot \pi \cdot 0.006525 \text{ m} \cdot 1.1275 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot 1.4397 \text{ s}}{100 \text{ kg} \cdot 4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}$$

$$T_{h4}(t) \text{ stage 4} = 59.85^{\circ}\text{C}$$

3.4.2 Processing

Proses selanjutnya adalah *processing*. Proses ini dilakukan menggunakan *software* FLUENT 6.3. Tahapan pemodelan yang dilakukan dalam proses ini antara lain adalah mengatur *solver model*, *viscous model*, *materials*, *boundary condition*, serta *initialize conditions*. Setelah seluruh pemodelan ditentukan, dilakukan proses iterasi untuk menyelesaikan proses simulasi. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai langkah-langkah dalam *processing*:

1. Solver Model

Pada tahapan simulasi ini, digunakan penyelesaian 2 dimensi (2D) *double precision* dengan keakuratan ganda untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menyelesaikan masalah. Untuk *solver* yang digunakan

adalah *pressure based*. Persamaan energi diaktifkan guna mendukung penyelesaian *heat transfer* terhadap perubahan temperature. *Viscous* model yang dipilih adalah laminar, karena keadaan air di dalam tangki dalam keadaan diam sehingga bilangan Reynolds yang dihasilkan sangat kecil.

2. Material

Material yang digunakan dalam proses simulasi ini adalah fluida air, material solid yaitu *copper* (tembaga) untuk material *tube* dan material *fiber glass* untuk material tanki air. Berikut adalah tabel properties untuk material yang digunakan untuk proses simulasi ini:

Tabel 3.3 Properties Material yang Digunakan pada Proses Simulasi

Properties Air	
<i>Density</i> (Kg/m ³)	998,2
<i>Specific Heat</i> (Cp) (J/kg.K)	4182
<i>Thermal Conductivity</i> (W/m.K)	0,6

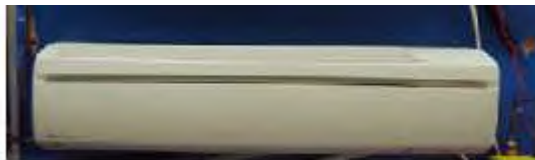
Properties Tembaga	
<i>Density</i> (Kg/m ³)	8978
<i>Specific Heat</i> (Cp) (J/kg.K)	381
<i>Thermal Conductivity</i> (W/m.K)	387,6

3. *Operating Conditions*
Operating conditions digunakan untuk mengatur tekanan di dalam sistem yang disimulasikan. Dalam simulasi ini, tekanan operasional diatur pada tekanan 101,325 Pa
4. *Boundary Conditions*
 Informasi variabel yang akan disimulasikan dimasukkan sebagai parameter nilai untuk setiap *boundary conditions*. *Boundary conditions* telah ditentukan sesuai pada gambar 3.12
5. *Control dan Monitoring Solution*
Solution Control yang digunakan untuk simulasi ini adalah dengan diskritasi *Second Order Upwind* untuk seluruh parameter. Untuk kriteria konvergensi yang telah ditentukan sebelumnya
6. *Initialize Condition*
Initialize merupakan nilai awal untuk setiap parameter sebelum dilakukan proses iterasi pada simulasi.

3.5 Alat yang Digunakan pada Sistem AC

Setelah perencanaan *water heater* yang akan digunakan pada sistem AC, tahap selanjutnya adalah merancang peralatan yang akan digunakan pada eksperimen ini. Komponen pada sistem AC ini diantaranya adalah AC *Indoor*, AC *Outdoor*, kompresor, dan pipa kapiler. Berikut adalah komponen pada sistem AC yang digunakan beserta dengan spesifikasinya.

3.5.1 AC *Indoor*



Gambar 3.10 AC *Indoor*

3.5.2 AC Outdoor



Gambar 3.11 AC Outdoor
Dengan Spesifikasi:

Tabel 3.4 Spesifikasi AC Outdoor

a.	Merk	: Daikin
b.	Tipe	: R25FV1M
c.	<i>Rated current</i>	: 4.0 A
d.	<i>Rated volt</i>	: 220 – 240 V
e.	<i>Weight</i>	: 8 kg
f.	<i>Rated input power</i>	: 895 W
g.	<i>Rated frequency</i>	: 50 Hz

3.5.3 Pipa Kapiler



Gambar 3.12 Pipa Kapiler

3.5.4 Water Heater



Gambar 3.13 Water heater

Berdasarkan Gambar 3.9, geometri *water heater* menggunakan bentuk U-tube. Diameter masing-masing *tube* 10 mm dan *transverse pitch* ($S_T/D = 4$). *Water heater tubes* sendiri akan dicelupkan ke dalam tangki berisi 100 Liter air

3.6 Alat Ukur

Sesuai pada sub-bab langkah penelitian yaitu pada langkah pengambilan data bahwa data pokok yang diambil adalah temperatur dan tekanan pada titik pengukuran yang telah ditentukan sebelumnya. Selain data temperatur dan tekanan, dilakukan juga pengukuran arus listrik dan debit. Berikut penjelasan secara lengkap alat ukur yang dipakai

3.6.1 Termokopel

Termokopel merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur temperatur. Prinsip kerja dari termokopel ini pada dasarnya cukup sederhana. Pada dasarnya termokopel hanya

terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas



Gambar 3.14 Termokopel

Termokopel yang digunakan pada pengujian ini adalah termokopel tipe K. Berikut adalah spesifikasi termokopel tipe K

3.6.2 Pressure Gauge

Pada pengujian ini alat ukur tekanan yang dipakai adalah *pressure gauge*. Secara sederhana *pressure gauge* alat ukur tekanan yang dapat dibaca dengan pengamatan langsung. Pada eksperimen ini, *pressure gauge* yang dipakai ada 2 macam diantaranya

a) Low Pressure Gauge

Alat ukur *Low Pressure Gauge* bertujuan untuk mengukur tekanan rendah yang berada pada titik tekanan evaporasi yaitu tekanan sebelum masuk ke kompresor atau tekanan keluaran dari evaporator



Gambar 3.15 *Low Pressure Gauge*

b) *High Pressure Gauge*

Alat ukur *High Pressure Gauge* bertujuan untuk mengukur tekanan tinggi yang berada pada titik tekanan kondensasi yaitu tekanan keluaran kompresor atau tekanan sebelum masuk ke kondensor



Gambar 3.16 *High Pressure Gauge*

3.6.3 Flowmeter

Flowmeter adalah alat ukur untuk mengukur jumlah atau laju aliran volumetrik dari suatu fluida yang mengalir dalam pipa atau sambungan terbuka.



Gambar 3.17 Flowmeter

3.6.4 Clamp Digital Meter

Clamp Digital meter berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus listrik yang mengalir pada sistem AC



Gambar 3.18 Clamp Digital Meter

3.6.5 Data Akuisisi (Data *Logger*)

Data akuisisi merupakan alat ukur bantu untuk mempermudah proses pengukuran. Data akuisisi memiliki tingkat keakuratan yang sangat baik dalam membaca hasil pengukuran. Cara pemakaian data akuisisi ini adalah dengan menginstall *software* pada *Personal Computer*, kemudian terdapat kabel LAN sebagai konektor antara *Personal Computer* dengan data akuisisi tersebut. Hasil pengukuran dapat diatur dengan waktu pengujian yang diinginkan. Hasil pengukuran dapat diolah pada *Microsoft Excel*. Data akuisisi yang dipakai pada eksperimen ini digunakan untuk mengukur temperatur dimana data akuisisi disambungkan dengan kabel termokopel.



Gambar 3.19 Data Akuisisi

3.7 Langkah Pengujian

Pada langkah pengujian, terdapat 2 tahap prosedur yaitu tahap persiapan dan tahap pengujian. Tahap persiapan berupa pengecekan sistem AC, alat ukur, dan kondisi sekitar pengujian agar pengujian bisa berjalan sesuai rencana. Tahap pengujian berupa pengamatan dan pengambilan data yang dibutuhkan untuk tahap analisis ataupun perhitungan pada tahap selanjutnya. Berikut adalah tahapan secara lengkap yang harus dilakukan untuk pengujian:

3.7.1 Langkah Persiapan

- 1) Memastikan kondisi sekitar pengujian bersih, aman, dan benda yang sekiranya tidak perlu agar dirapikan
- 2) Mengecek kabel atau peralatan listrik tidak ada yang putus untuk mencegah korsleting
- 3) Memastikan *globe valve* dan *check valve* pada *suction* dan *discharge* dalam keadaan terbuka untuk mengalirkan refrigerant
- 4) Melakukan proses vakum dengan menggunakan pompa vakum untuk menghilangkan uap air yang ada pada sistem
- 5) Melakukan cek kebocoran dengan melihat *pressure gauge* apakah terjadi perubahan tekanan pada *pressure gauge*
- 6) Jika tidak terjadi kebocoran, langkah selanjutnya adalah dengan memasukkan refrigerant.

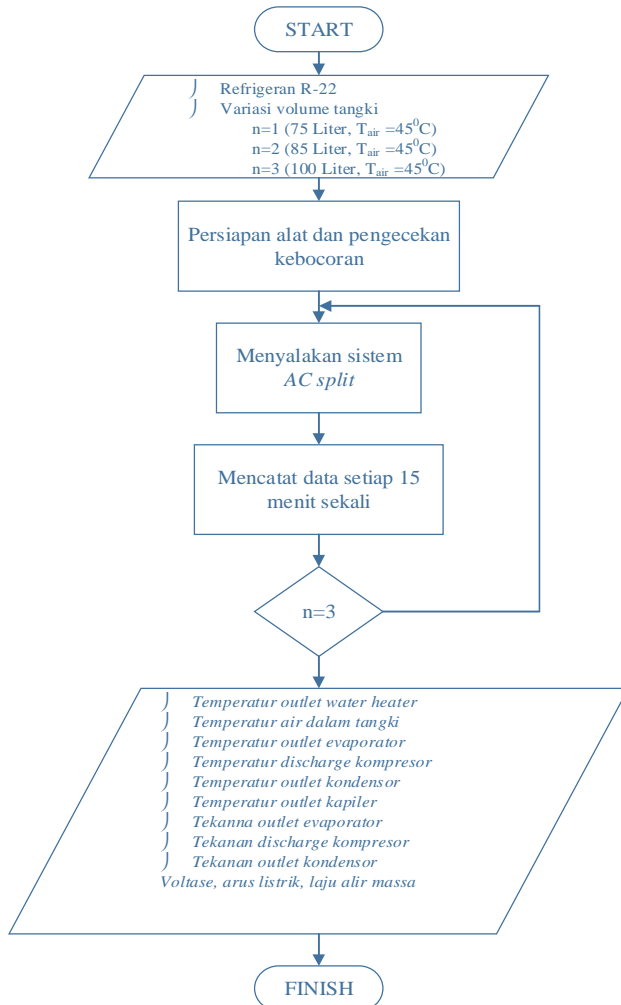
3.7.2 Langkah Pengujian

- 1) Pastikan volume bak air dalam keadaan terisi air sesuai variasi yang telah ditentukan
- 2) Menyalakan data akuisisi dan pastikan kabel LAN telah terhubung dengan laptop
- 3) Jika sudah dipastikan terhubung, nyalakan AC *Indoor* menggunakan *remote control*
- 4) Pasang Clamp Digital Meter pada kabel fasa yang terhubung pada AC *Outdoor* untuk mengamati arus dan tegangan listrik yang mengalir pada kompresor
- 5) Mengamati tekanan pada *low pressure gauge* dan *high pressure gauge* untuk mengetahui tekanan kerja sistem AC sudah sesuai dengan perencanaan atau belum
- 6) Amati nilai arus listrik yang mengalir pada kompresor pada Digital Clamp Meter ,tekanan pada *low pressure gauge* dan *high pressure gauge*,debit refrigerant pada *flowmeter* temperatur setiap titik yang telah ditentukan pada data akuisisi. Pengambilan data sesuai dengan

waktu pengujian masing-masing yang telah ditentukan sebelumnya

- 7) Setelah pengambilan data, air yang telah dipanaskan dalam bak dibuang dan matikan AC indoor dan cabut kontak listrik
- 8) Memvariasikan volume air sebanyak 85 dan 75 liter dan lakukan pengujian kembali seperti langkah diatas
- 9) Setelah pengambilan semua data selesai, matikan AC *Indoor* dan cabut kontak listrik

3.8 Diagram Alir Pengambilan Data



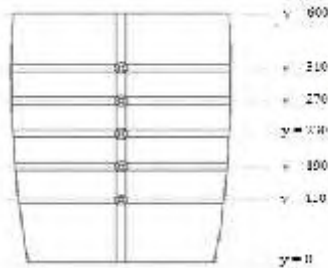
Gambar 3.21 Diagram Alir Pengambilan Data

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV PERHITUNGAN DAN ANALISA DATA

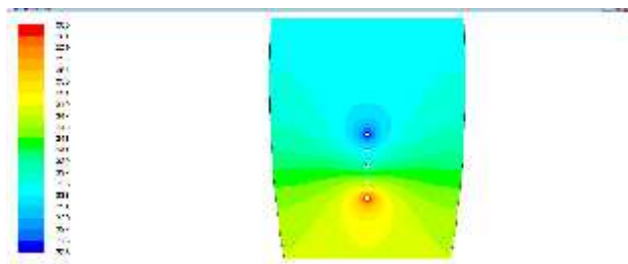
4.1 Analisa Numerik

Untuk mendapatkan data secara numerical, maka digunakan metode yang umum digunakan dalam pengambilan data dengan cara *iso-surface*. *Iso-Surface* adalah memotong sebuah bidang yang tegak lurus terhadap bidang lain. Pada tugas akhir ini, penulis memotong bidang berdasarkan sumbu y atau secara vertikal. Jumlah bidang *iso-surface* yang dibuat adalah sebanyak 8 buah, terletak pada titik $y = 0 \text{ mm}$; 150 mm ; 190 mm ; 230 mm ; 270 mm ; 310 mm ; 350 mm ; dan 600 mm . Pengambilan titik tersebut diantaranya untuk memperoleh data pada bagian bawah tangki, daerah sekitar *tube*, dan pada bagian atas tangki.

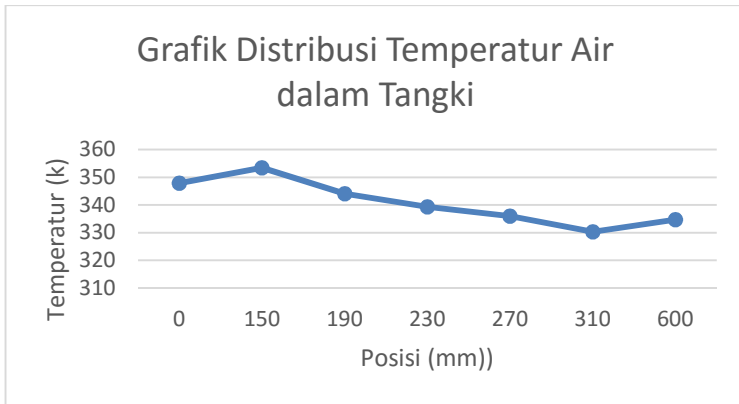


Gambar 4.1 Posisi *Iso-Surface*

4.1.1 Distribusi Temperatur



Gambar 4.2 Visualisasi Kontur Temperatur Air pada Tangki



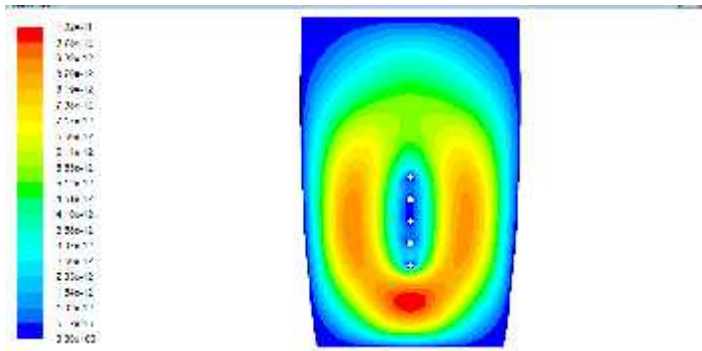
Gambar 4.3 Distribusi Temperatur Air dalam Tangki secara Numerikal

Berdasarkan visualisasi kontur temperatur diatas bahwa warna merah merupakan nilai temperatur tertinggi dan warna biru tua merupakan temperatur paling rendah. Terlihat bahwa temperatur tertinggi adalah pada sekitaran *tube inlet water heater* dan temperatur terendah adalah temperatur pada sekitaran *tube outlet water heater*. Distribusi temperatur air pada sekitaran *tube inlet water heater* masih rendah dibandingkan dengan temperatur *tube inlet*. Sedangkan pada daerah sekitaran *tube stage 2* sampai pada *tube outlet*, temperatur air memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan temperatur *tube* nya. Distribusi temperatur air pada posisi diatas *tube outlet* memiliki temperatur yang sama dengan distribusi temperatur air di sekitaran *tube 4*.

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat bahwa temperatur tertinggi berada pada posisi $y = 150$ mm dimana posisi tersebut adalah posisi dari *tube inlet water heater* dengan temperatur paling tinggi yaitu sebesar 363 K walaupun pada grafik tersebut distribusi temperatur air di sekitaran *tube inlet* berbeda sedikit dengan temperatur pada *tube inlet*. Besarnya temperatur pada posisi $y = 150$ mm adalah 353,47 K. Sedangkan temperatur

tertinggi kedua adalah pada posisi $y = 0$ mm, dimana posisi tersebut adalah pada dinding bawah tangki yang posisinya dekat dengan *tube inlet water heater*. Besarnya distribusi temperatur pada posisi $y = 0$ mm adalah 347,85 K. Sedangkan untuk posisi berikutnya, temperatur air memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan temperatur *tube* pada sekitaran posisi tersebut. Pada posisi paling atas yaitu posisi $y = 600$ mm besar temperatur kembali menunjukkan kenaikan setelah pada posisi $y = 190$ mm sampai posisi $y = 310$ mm mengalami penurunan temperatur

4.1.2 Distribusi Kecepatan

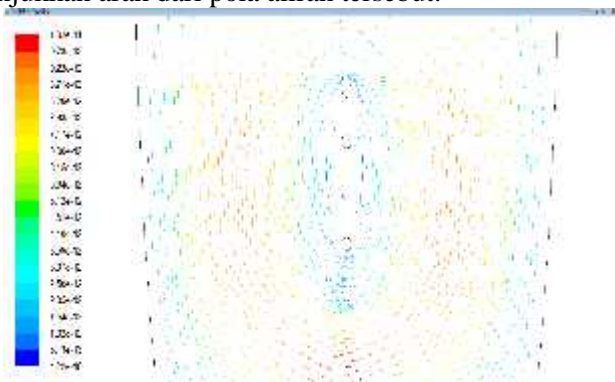


Gambar 4.4 Visualisasi Kontur Kecepatan dalam Tangki

Berdasarkan visualisasi kontur pola aliran kecepatan diatas bahwa warna merah merupakan nilai distribusi kecepatan tertinggi dan warna biru tua merupakan distribusi kecepatan paling rendah. Terlihat bahwa pola aliran kecepatan tertinggi berada pada daerah dengan masukkan temperatur *tube* tertinggi yaitu pada daerah paling bawah tangki dan *tube* inlet sedangkan pola aliran kecepatan terendah berada pada daerah sekitaran dekat permukaan *tube* juga saat aliran mendekati seluruh bagian.

Pada pola aliran kecepatan diatas menunjukkan bahwa pola aliran hanya berputar-putar di daerah sekitaran *tube* tidak terjadi

perbedaan pola aliran yang signifikan. Pola aliran kecepatan mengalir dari kecepatan tertinggi dimulai dari *tube inlet* menuju kecepatan aliran yang lebih rendah yaitu ditandai dengan warna kontur hijau muda yang terletak pada bagian daerah sekitara antara *tube outlet* dengan dinding atas tangki. Pada bagian sekitar seluruh *tube stage* memiliki kontur biru tua dikarenakan panas yang disebarkan oleh *tube* masih rendah sehingga perbedaan temperatur antara air dan *tube* masih rendah sehingga pola aliran kecepatan masih rendah, sedangkan pada saat aliran mendekati bagian dinding tangki juga memiliki kontur biru muda dikarenakan dinding yang diisolasi sehingga tidak ada perbedaan temperatur yang signifikan antara dinding tangki dan air. Hal tersebut juga dapat dilihat pada gambar vektor kecepatan untuk menunjukkan arah dari pola aliran tersebut.



Gambar 4.5 Visualisasi Vektor Kecepatan dalam Tangki

4.2 Variasi Eksperimen

Pengambilan data dilakukan dengan cara memberikan variasi volume air pada tangki dengan nilai 75 liter, 85 liter, dan 100 liter. Data hasil percobaan dan hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

4.3 Perhitungan Data

4.3.1 Contoh Data Perhitungan

Untuk contoh perhitungan data, digunakan satu contoh data, yaitu pada volume air pada tangki sebesar 100 liter. Data-data yang diperoleh pada eksperimen dengan volume air pada tangki sebesar 100 liter adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Eksperimen pada Volume Air Tangki 100 Liter

Menit 270	Volume Air dalam Tangki 100 Liter	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)				
		T_{out} evapora tor	T_{out} kompresor	T_{out} kondensor	T_{out} kapiler	T_{air}
		15.6	85	33.7	9.5	44.7
		Tekanan (Bar)				
		<i>Suction</i>		<i>Discharge</i>		Kondensor
		5,63		17,56		17,49

Sedangkan sebagai perbandingan, data eksperimen dengan tanpa *water heater* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data Eksperimen Tanpa *Water Heater*

Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)			
T_{out} evaporator	T_{out} kompresor	T_{out} kondensor	T_{out} kapiler
19,2	90,2	38,5	8,2
Tekanan (Bar)			
<i>Suction</i>		<i>Discharge</i>	Kondensor
5.43		17.08	16.87

Untuk mencari nilai entalpi di setiap titik, digunakan software REFROP dengan mencantumkan nilai tekanan dan temperature pada setiap titik. Sedangkan untuk nilai entalpi di keluaran kapiler memiliki nilai yang sama dengan entalpi pada keluaran kondensor karena terjadi proses entalpi dan fungsi kapiler hanya menurunkan tekanan dan temperature saja. Untuk mencari entalpi keluaran *water heater*, maka dicantumkan nilai tekanan discharge dan temperature nya, karena sesuai batasan

masalah bahwa tidak ada penurunan tekanan sepanjang *water heater* maka tekanan discharge atau tekanan keluaran kompressor sama dengan tekanan keluaran *water heater*.

Pada tabel 4.1 dapat dilihat data temperatur dan tekanan di setiap masing-masing titik Temperatur keluaran evaporator adalah sebesar $16,7^{\circ}\text{C}$ dan tekanan sebesar 5,77 bar terjadi kenaikan karena mengalami proses kompresi setelah refrigerant masuk ke kompressor. Temperatur keluaran kompressor adalah sebesar 86°C dan tekanan sebesar 17,62 bar. Kemudian mengalami penurunan temperature saat memasuki *water heater*. Kemudian selanjutnya masuk ke kondensor dan mengalami penurunan tekanan dan temperature. Temperatur pada keluaran kondensor adalah sebesar $23,7^{\circ}\text{C}$ dan tekanan keluaran kondensor adalah sebesar 17,56 bar. Setelah dari kondensor kemudian refergerant masuk ke pipa kapiler untuk menurunkan tekanan dari refrigerant tersebut sebelum masuk ke evaporator. Temperatur pada kapiler tersebut adalah sebesar $10,1^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk tekanan pada pipa kapiler adalah sebesar 6,684 bar Untuk tekanan pipa kapiler diperoleh dari hasil plot diagram P-h dimana terjadi perbedaan antara tekanan di pipa kapiler dan tekanan suction, dimana tekanan *suction* lebih rendah dari tekanan pipa kapiler

4.3.2 Perhitungan Pada Refrigeran

Propertis refrigeran yang digunakan berdasarkan pada sebuah program *software* REFPROP. Berikut adalah nilai entalpi untuk sistem AC dengan penambahan *water heater*

)	$h_{\text{out evaporator}}$	$= 415,23 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out kompressor}}$	$= 453,63 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out kondensor}}$	$= 241,38 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out water heater}}$	$= 442,91 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out kapiler}}$	$= 241,38 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out isentropis kompresor}}$	$= 445,35 \text{ kJ/kg}$

Sedangkan untuk nilai entalpi dengan tanpa *water heater* adalah sebagai berikut

)	$h_{\text{out evaporator}}$	$= 418,28 \text{ kJ/kg}$
)	$h_{\text{out kompressor}}$	$= 458,82 \text{ kJ/kg}$

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} \text{J} \\ \text{J} \\ \text{J} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_{\text{out kondensor}} = 247,82 \text{ kJ/kg} \\ h_{\text{out kapiler}} = 247,82 \text{ kJ/kg} \\ h_{\text{out isetropis kompresor}} = 449,195 \text{ kJ/kg} \end{array} \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan \dot{Q} Evaporator

Nilai dari panas yang diserap refrigeran pada evaporator dapat diketahui dengan mengalikan laju alir massa refrigeran dengan selisih entalpi antara keluaran evaporator dengan keluaran kapiler

a) Dengan *Water Heater*

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{ev}} &= \dot{m}_{\text{ref}} (h_{\text{out ev}} - h_{\text{out k}}) \\ \dot{Q}_{\text{ev}} &= 0,013 \text{ kg/s} \left(415,23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 241,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ \dot{Q}_{\text{ev}} &= 2,260 \text{ kW} \end{aligned}$$

b) Tanpa *Water Heater*

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{ev}} &= \dot{m}_{\text{ref}} (h_{\text{out e}} - h_{\text{out k}}) \\ \dot{Q}_{\text{ev}} &= 0,0125 \text{ kg/s} \left(418,28 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 247,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ \dot{Q}_{\text{ev}} &= 2,131 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.3.4 Perhitungan \dot{w} Input Aktual Kompresor

\dot{w} input aktual kompresor adalah daya yang dibutuhkan oleh kompresor. Besarnya nilai daya aktual yang dibutuhkan kompresor dapat diperoleh dengan mengalikan massa alir refrigeran tergantung kompresor yang digunakan. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

a) Dengan *Water Heater*

$$\begin{aligned} \dot{w}_{\text{kt}} &= \dot{m}_{\text{ref}} (h_{\text{out kt}} - h_{\text{in kt}}) \\ \dot{w}_{\text{kt}} &= 0,013 \text{ kg/s} (453,71 - 415,23) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ \dot{w}_{\text{kt}} &= 0,500 \text{ kW} \end{aligned}$$

b) Tanpa Water Heater

$$\dot{w}_{kt} = \dot{m}_r (h_{o_{kt}} - h_{ii_{kt}})$$

$$\dot{w}_{kt} = 0,0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (458,82 - 418,28) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_{kt} = 0,517 \text{ kW}$$

4.3.5 Perhitungan \dot{w} Isentropis Kompresor

\dot{w} isentropis kompresor dapat diperoleh dengan mengalikan massa alir refeiGERAN dengan selisih antara entalpi keluaran kompresor dengan input kompresor. Perbedaan dengan perhitungan \dot{w} isentropis kompresor adalah terletak dari nilai entalpi keluaran kompresor. Nilai entalpi keluaran kompresor pada perhitungan ini diperoleh dari nilai entropi masukan kompresor dimana terjadi proses isentropi saat kompresi, sehingga nilai entropi masukan dan keluaran kompresor adalah sama. Setelah diperoleh entropi yang sama, selanjutnya adalah memasukkan data tekanan *discharge* dan data entropi untuk memperoleh entropi yang digunakan untuk menghitung \dot{w} isentropis kompresor. Adapun perhitungannya adalah sebagai berikut:

a) Dengan Water Heater

$$\dot{w}_{is} = \dot{m}_r (h_{kt_{is}} - h_{ii_{kt}})$$

$$\dot{w}_{is} = 0,013 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (445,32 - 415,23) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_{is} = 0,3853 \text{ kW}$$

b) Tanpa Water Heater

$$\dot{w}_{is} = \dot{m}_r (h_{kt_{is}} - h_{ii_{kt}})$$

$$\dot{w}_{is} = 0,0125 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (449,19 - 418,28) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_{is} = 0,3864 \text{ kW}$$

4.3.6 Perhitungan E Kompresor

Effisiensi kompresor diperoleh dari perbandingan antara kerja isentropis kompresor dengan kerja kompresor. Berikut adalah perhitungan effisiensi kompresor:

a) Dengan Water Heater

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = \frac{w_{ji}}{w_{ki}} \times 100\%$$

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = \frac{0,3}{0,5} \times 100\%$$

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = 76,6 \%$$

b) Tanpa Water Heater

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = \frac{w_{ji}}{w_{ki}} \times 100\%$$

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = \frac{0,3}{0,5} \times 100\%$$

$$\tilde{\eta}_{\text{kompresor}} = 74,74 \%$$

4.3.7 Perhitungan Kalor yang Diserap Air (Q_{air})

Kalor yang diserap air merupakan kalor yang diberikan oleh *water heater* terhadap air. Kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\dot{Q}_A = \frac{m_a \times C_a \times (T_{a2} - T_{a1})}{t_2 - t_1}$$

$$\dot{Q}_A = \frac{1 \text{ kg} \times 4 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (40 - 14)^\circ\text{C}}{9 \text{ s}} \left(\frac{\text{kg}}{1} \right) \left(\frac{\text{s}}{1} \right)$$

$$\dot{Q}_A = 0,139 \text{ kW}$$

Selanjutnya dapat diperoleh entalpi masuk kondensor ($h_{\text{in kondensor}}$) dari persamaan kalor yang diserap air, dimana sesuai dengan persamaan kesetimbangan energy kalor yang diserap air sama dengan kalor yang diberikan *water heater*. Berikut adalah perhitungannya:

$$\dot{Q}_A = \dot{Q}_W$$

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_r (h_{\text{in w}} - h_{\text{in k}})$$

$$h_{\text{in k}} = \frac{(\dot{m}_r \times h_{\text{in w}}) - (\dot{Q}_A)}{\dot{m}_r}$$

$$h_{ii} \text{ k} = \frac{(1,0 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,7 \text{ k/k}) - (1,1 \text{ k/s})}{1,0 \text{ k/s}}$$

$$h_{ii} \text{ k} = 442,99 \text{ kJ/kg}$$

4.3.7 Perhitungan \dot{Q} Kondensor

Panas yang dikeluarkan oleh kondensor dapat dihitung dengan cara mengalikan laju alir massa refrigeran dengan selisih *enthalpy* antara keluaran kondensor dengan masukan kondensor

a) Dengan Water Heater

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_{ii} \text{ k} - h_o \text{ k})$$

$$\dot{Q}_c = 0,013 \text{ kg/s} \left(442,99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 241,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_c = 2,621 \text{ kW}$$

b) Tanpa Water Heater

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_{ii} \text{ k} - h_o \text{ k})$$

$$\dot{Q}_c = 0,0125 \text{ kg/s} \left(458,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 247,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{Q}_c = 2,637 \text{ kW}$$

4.3.8 Perhitungan COP Sistem

Nilai COP actual diperoleh dengan membandingkan antara panas yang diserap oleh refrijeran pada evaporator ($\dot{Q}_{\text{evaporator}}$) dengan daya kompresor (\dot{w}_{k1})

a) Dengan Water Heater

$$C = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{w}_{k1}}$$

$$C = \frac{2,621 \text{ kW}}{0,500 \text{ kW}}$$

$$C = 4,518$$

b) Tanpa Water Heater

$$C = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_{ki}}$$

$$C = \frac{2,131 \text{ kW}}{0,517 \text{ kW}}$$

$$C = 4,12$$

4.4 Pembahasan Grafik

4.4.1 Analisis Kerja Kompresor terhadap Waktu

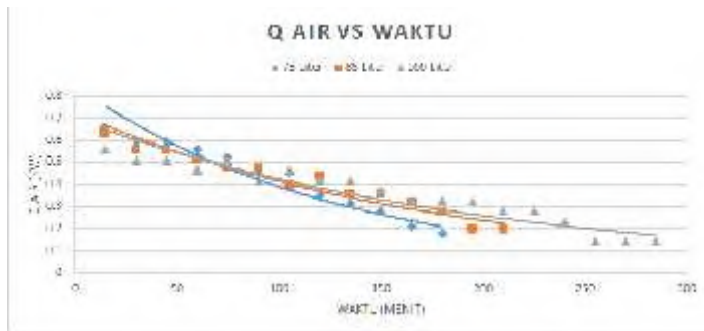


Gambar 4.6 Grafik Kerja Kompresor terhadap Waktu

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa grafik memiliki tren meningkat walaupun pada waktu tertentu kerja kompresor menunjukkan nilai yang cenderung konstan. Pada seluruh variasi volume air dalam tangki menunjukkan kerja kompresor berada pada titik terendah saat awal waktu. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa secara keseluruhan pada eksperimen variasi volume air dalam tangki sebesar 100 liter memiliki kerja kompresor paling rendah sedangkan kerja kompresor tertinggi yaitu pada eksperimen volume air dalam tangki sebesar 75 liter walaupun memiliki kerja kompresor cenderung sama dengan eksperimen variasi volume air sebesar 85 liter

Pada eksperimen dengan variasi volume air sebesar 100 liter memiliki kerja kompresor paling rendah dikarenakan pemanasan air dalam tangki belum sepenuhnya diserap oleh air, sehingga air dalam tangki tersebut bersifat sebagai pendinginan, tetapi saat temperatur air meningkat maka kerja kompresor pun naik dan saat temperatur air mendekati temperatur yang diharapkan yaitu sebesar 45°C , kerja kompresor pun cenderung konstan.

4.4.1.2 Analisis Laju Kalor yang Diserap Air terhadap Waktu



Gambar 4.7 Grafik Laju Kalor yang Diserap Air terhadap Waktu

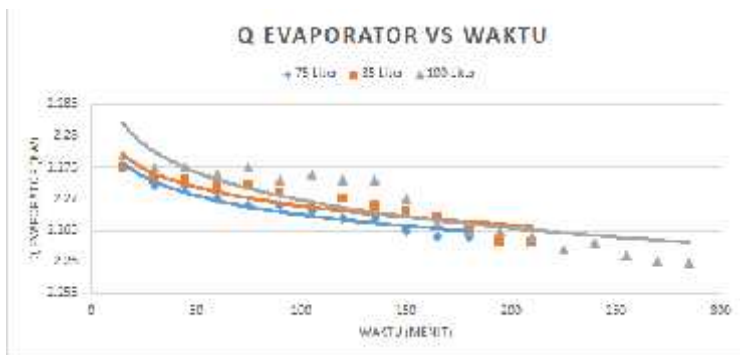
Pada grafik di atas terlihat bahwa grafik memiliki tren cenderung menurun seiring berjalannya waktu,. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa kalor yang diserap air paling tinggi terdapat pada waktu awal. Pada waktu awal, eksperimen dengan volume air sebesar 75 liter memiliki laju kalor yang diserap air paling tinggi. Kemudian pada waktu berikutnya terus menurun laju kalornya saat mendekati temperatur air di dalam tangki sebesar 45°C . Bahkan laju kalor nya berada pada titik terendah saat akan mencapai temperatur air sebesar 45°C . Begitu juga dengan eksperimen dengan variasi volume air sebesar 85 liter, dimana mendekati waktu tercapainya temperatur air yang diharapkan

Sedangkan untuk eksperimen dengan variasi volume air sebesar 100 liter penurunan laju kalor yang diserap yang stabil jika dibandingkan dengan eksperimen variasi volume air lainnya, sehingga memiliki waktu pemanasan yang lebih lama. Kemudian pada eksperimen volume air sebesar 100 liter ini memiliki laju kalor yang diserap oleh air paling besar walaupun pada waktu awal sampai menit ke 60 memiliki laju kalor yang paling rendah. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan persamaan laju kalor yang diserap oleh air sebagai berikut:

$$\dot{Q}_A = \frac{m_a \times C_a \times (T_{a\text{ akhir}} - T_{a\text{ awal}})}{t_a - t_a}$$

Dimana dalam persamaan tersebut terlihat bahwa laju kalor yang diserap air berbanding lurus dengan volume air, dimana dalam persamaan untuk mencari massa air adalah massa jenis dikalikan dengan volume air dimana massa jenis diasumsikan memiliki nilai yang sama untuk seluruh volume air. Sehingga semakin besar massa dari air, maka semakin besar dari laju kalor yang diserap oleh air.

4.4.1.3 Analisis Kapasitas Pendinginan terhadap Waktu



Gambar 4.8 Grafik Kapasitas Pendinginan terhadap Waktu

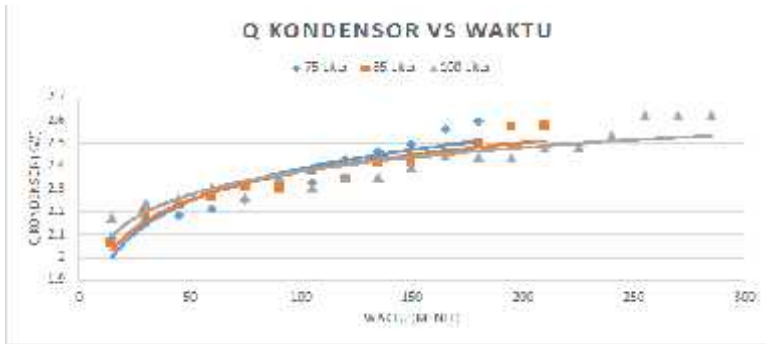
Pada grafik diatas menunjukkan bahwa grafik memiliki tren cenderung menurun terhadap waktu. Pada grafik diatas menunjukkan kapasitas pendinginan terbesar adalah pada eksperimen dengan volume air sebesar 100 liter. Sedangkan untuk variasi volume air sebesar 75 dan 85 liter hampir memiliki kapasitas pendinginan yang sama.

Pada eksperimen dengan volume air sebesar 100 liter memiliki kapasitas pendinginan yang paling besar dikarenakan temperatur keluaran kondensor yang rendah dibandingkan dengan variasi volume air yang lain. Hal tersebut menyebabkan kondisi refrigerant saat keluar dari kondensor semakin pada fasa *subcooled* dibandingkan dengan variasi volume air yang lain. Kemudian setelah diturunkan tekanannya oleh katup ekspansi, refrigerant berada pada kondisi campuran dengan kualitas (x) yang rendah atau mendekati perubahan ke fasa *subcooled*. Oleh karena itu, kapasitas pendinginan harus lebih besar lagi agar refrigerant saat sebelum masuk ke kompresor berada pada fasa *superheated*. Berikut jika dibandingkan dengan persamaan untuk mencari kapasitas referigerasi:

$$\dot{Q}_e = \dot{m}_R (h_{g,e} - h_{g,k})$$

Dimana pada persamaan tersebut jika melihat dari entalpi keluaran dari pipa kapiler yang memiliki nilai sama dengan entalpi keluaran kondensor, sehingga entalpi keluaran kapiler lebih kecil saat temperatur keluaran kondensor juga kecil maka dari itu kapasitas referigerasi lebih besar saat temperatur keluaran dari kondensor kecil. Sedangkan jika melihat data eksperimen untuk temperatur keluaran evaporator cenderung sama untuk seluruh eksperimen dengan variasi volume air

4.4.1.4 Analisis Laju Pelepasan Kalor oleh Kondensor terhadap Waktu



Gambar 4.9 Grafik Laju Pelepasan Kalor oleh Kondensor terhadap Waktu

Pada grafik diatas menunjukkan bahwa grafik memiliki tren meningkat. Kenaikan Grafik diatas menunjukkan bahwa laju kondensor terbesar adalah pada eksperimen dengan variasi volume air sebesar 75 liter sedangkan untuk variasi volume air sebesar 75 dan 85 liter cenderung memiliki laju pelepasn kalor oleh kondensor yang sama walaupun eksperimen dengan variasi volume air sebesar 100 liter memiliki nilai laju kalor yang dilepas oleh kondensor lebih sedikit dibandingkan dengan variasi volume air 85 liter.

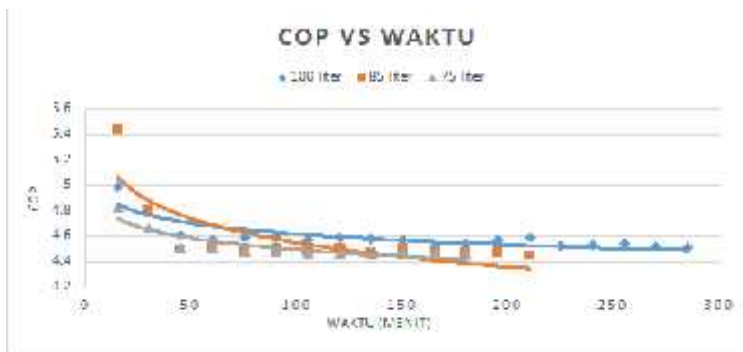
Laju pelepasan kalor oleh kondensor memiliki *trendline* yang meningkat dikarenakan temperatur air yang semakin meningkat juga seiring bertambahnya waktu. Temperatur air yang meningkat juga menyebabkan temperatur masuk kondensor juga semakin besar, walaupun pada eksperimen kecepatan fan diatur konstan. Tetapi jika melihat kapasitas kondensasi dimana penjumlahan laju kalor yang diserap oleh air dengan laju kalor yang dilepas oleh kondensor memiliki nilai yang sama seiring bertambahnya waktu. Hal tersebut berarti *water heater* tersebut berfungsi untuk membantu kerja dari kondensor itu sendiri.

Berikut persamaan untuk mencari laju kalor yang dilepas oleh kondensor:

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_{in,k} - h_{out,k})$$

Dimana bahwa entalpi masuk kondensor terus meningkat seiring meningkatnya temperatur air di dalam tangki. Entalpi masuk kondensor ditentukan oleh temperatur dari masukan kondensor. Sehingga semakin meningkatnya temperatur masuk dari kondensor maka laju pelepasan kalor yang dilepas oleh kondensor semakin besar.

4.4.1.5 Analisis *Coefficient of Performance* terhadap Waktu



Gambar 4.10 Grafik *Coefficient of Performance* terhadap Waktu

Pada grafik di atas terlihat bahwa grafik memiliki tren yang cenderung menurun terhadap waktu. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa eksperimen dengan volume air sebesar 100 liter memiliki COP pada sistem AC yang besar dibandingkan dengan variasi volume air yang lain. Pada waktu awal, hasil eksperimen dengan variasi volume air sebesar 85 liter memiliki COP yang lebih besar dibandingkan dengan hasil eksperimen dari 75 liter. Tetapi seiring bertambahnya waktu nilai COP dari

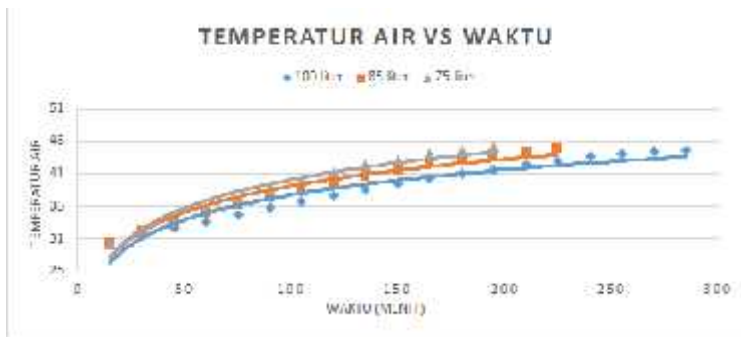
eksperimen dengan volume air sebesar 85 liter memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan variasi volume air sebesar 75 liter. Kemudian dimulai pada menit ke 135, variasi volume air dalam tangki sebesar 75 liter dan 85 liter memiliki nilai COP yang hampir sama

Pada eksperimen dengan volume air sebesar 100 liter memiliki nilai COP yang paling besar dibandingkan dengan variasi volume lainnya dikarenakan kerja kompresor yang rendah. Sesuai dengan persamaan COP sebagai berikut:

$$\text{COP} = \frac{\frac{K}{K_1}}{\frac{P}{K_1}} = \frac{Q}{W}$$

Dilihat dari persamaan diatas bahwa *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem AC dipengaruhi oleh kapasitas pendinginan dan kerja kompresor. Kapasitas pendinginan pada untuk seluruh eksperimen memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan, sehingga pada kasus ini, kerja kompresor yang paling mempengaruhi dari nilai COP.

4.4.1.6 Analisis Temperatur Air Terhadap Waktu



Gambar 4.11 Grafik Temperatur Air terhadap Waktu

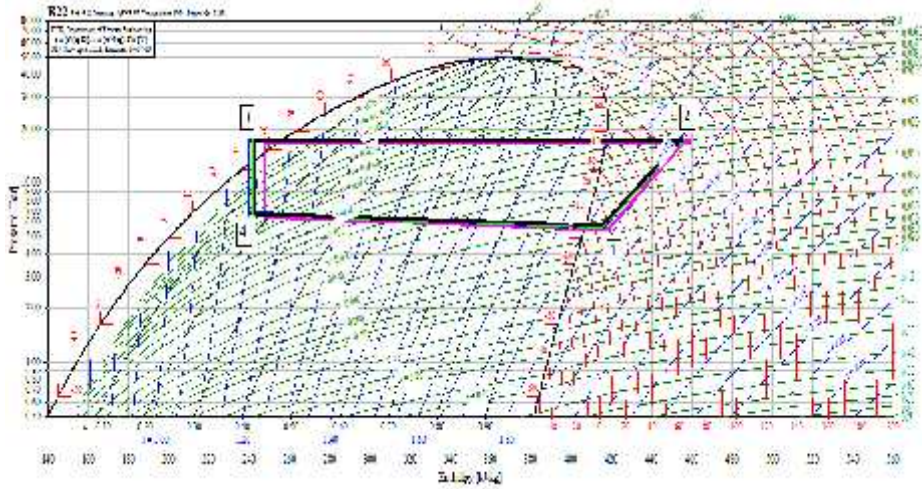
Pada grafik diatas menunjukkan bahwa bentuk grafik memiliki tren meningkat seiring bertambahnya waktu. Grafik

diatas merupakan perubahan temperatur air dari awal hingga mencapai temperatur air yang diharapkan, dimana temperatur awal dan temperatur akhir disesuaikan dengan desain awal *water heater* yaitu masing-masing adalah 30⁰C dan 45⁰C.

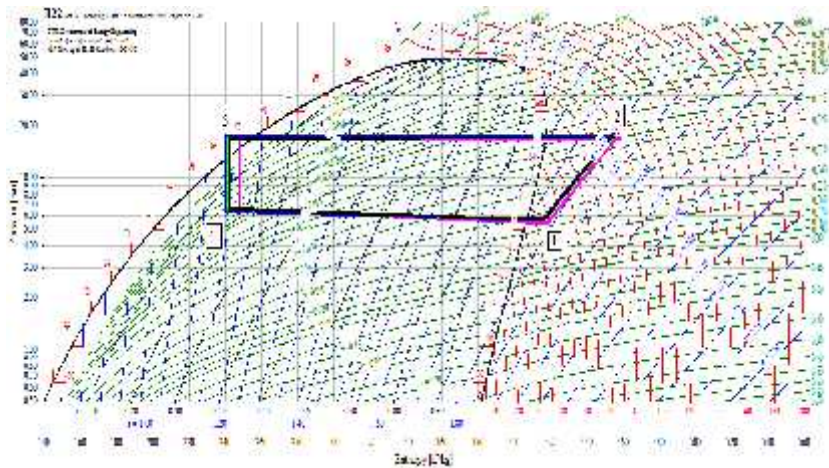
Pada grafik temperatur air pada eksperimen dengan volume air 75 dan 85 liter hampir memiliki kenaikan temperatur yang sama. Pada menit awal sampai menit ke-45, eksperimen dengan volume air 75 liter memiliki temperatur yang lebih rendah dibanding dengan eksperimen dengan volume air sebesar 85 liter walaupun perbedaannya hanya sedikit. Tetapi saat menit ke-75 sampai menit dimana temperatur air tercapai sesuai yang diharapkan, eksperimen dengan volume air 75 liter memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan eksperimen dengan volume air 85 liter. Sedangkan untuk eksperimen dengan volume air 100 liter memiliki kenaikan temperatur air yang paling lambat. Kenaikan temperatur air pada eksperimen tersebut pada menit awal sampai menit ke-30 hanya terjadi sedikit kenaikan sehingga kenaikan temperatur air paling lambat dibandingkan dengan eksperimen lainnya.

Perbedaan kenaikan temperatur air pada eksperimen dengan volume air 100 liter cukup signifikan dibandingkan dengan eksperimen dengan variasi volume air lainnya. Hal tersebut dikarenakan tinggi *water heater* atau ST/D yang pendek sehingga pelepasan kalor *water heater* tidak secara cepat menyebar terhadap air dalam tangki sehingga kurang efektif dalam pemanasan air.

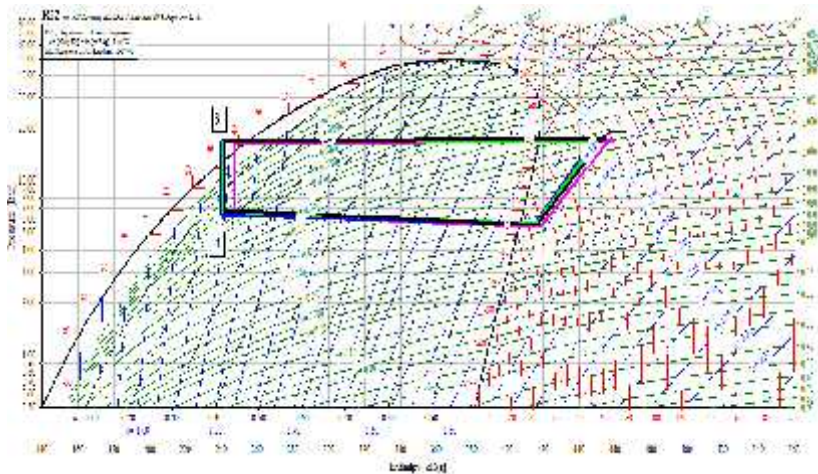
4.4.4 Diagram P-h



Gambar 4.12 Diagram P-h pada Variasi Volume Air 75 Liter



Gambar 4.13 Diagram P-h pada Variasi Volume Air 85 Liter



Gambar 4.14 Diagram P-h pada Variasi Volume Air 100 Liter

Keterangan

- = Tanpa *Water Heater*
- = Pada Waktu Awal
- = Pada Waktu Pertengahan
- = Pada Waktu Akhir

Pada diagram P-h diatas merupakan perbandingan plot pada kondisi waktu awal sistem AC, waktu pertengahan. Pada diagram diatas menunjukkan hal yang signifikan adalah pada titik kondensor (titik 3), dimana semakin lama waktu pemanasan air dalam tangki maka grafik akan semakin bergeser ke kanan. Hal tersebut juga terjadi pada titik ekspansi (titik 4), dimana ikut bergeser seiring bertambahnya waktu. Akan tetapi pada titik evaporasi (titik 2), kondisi yang terjadi cenderung sama.

Sedangkan untuk kondisi kompresor, pada waktu terakhir menunjukkan tekanan dan temperatur terbesar dibandingkan dengan pada waktu awal dan waktu pertengahan.

Kondisi yang cukup signifikan terjadi pada eksperimen dengan volume air 100 liter, dimana temperatur kondensor (titik 3) berada pada titik yang paling jauh dari kondisi campuran atau semakin berada dalam kondisi *subcooled*. Hal tersebut menyebabkan saat mencapai kondisi keluaran katup ekspansi (titik 4) refrigeran berada dalam kondisi campuran dengan kualitas (x) yang cukup kecil, sehingga membutuhkan kapasitas pendinginan yang besar agar fluida sebelum masuk kompresor berada dalam kondisi *superheated*. Pada diagram P-h diatas menunjukkan bahwa grafik akan semakin bergeser ke kanan mendekati kondisi campuran dikarenakan temperatur air dalam tangki mulai semakin meningkat.

Perbandingan dengan kondisi tanpa *water heater*, untuk seluruh variasi memiliki perbedaan yang signifikan. Hal yang signifikan terlihat pada titik 2 (titik kompresor) dan titik 3 (kondensor). Dimana pada titik 2 memiliki kecenderungan garis lebih ke kanan, begitu juga dengan titik 3 yang lebih mendekati kubah atau dalam kondisi campuran. Sedangkan untuk titik evaporasi dan titik keluaran kapiler cenderung sama. Hal tersebut berarti bahwa dengan *water heater*, kerja kompresor bisa lebih ringan karena semakin garis ke kanan pada titik kompresor maka kerja kompresor semakin besar. Sedangkan jika melihat titik kondensor yang semakin dekat ke dalam kubah pada kondisi tanpa *water heater*, maka kapasitas referigerasi atau kapasitas pendinginan pada kondisi tanpa *water heater* lebih rendah dibandingkan dengan adanya *water heater*. Sehingga hal tersebut juga berpengaruh terhadap *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem dimana dengan adanya penambahan *water heater*, COP akan semakin meningkat.

Halaman Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN A

DATA EKSPERIMEN 75 LITER

Menit	Temperatur ©								mass flow rate	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (kW)
	in komp	out komp	out kond	out kap	air	Ps	Pd	P kond				
15	15.40	81.8	32.7	9.50	32.2	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
30	15.20	83	32.8	9.40	33.9	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
45	14.90	84.2	32.6	9.30	35.6	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
60	15.10	84.3	32.9	9.40	37.2	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
75	15.20	84.7	33.0	9.40	38.7	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
90	15.30	84.8	33.0	9.40	40.0	5.63	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
105	15.50	84.9	33.0	9.50	41.3	5.77	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
120	15.50	84.8	33.1	9.60	42.3	5.77	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
135	15.40	84.7	33.0	9.30	43.2	5.77	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
150	15.60	84.7	33.2	9.10	44.0	5.77	17.21	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
165	15.50	84.6	33.2	9.00	44.6	5.77	17.28	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58
180	15.70	84.9	33.3	8.90	45.1	5.83	17.28	17.00	0.013	2.8	220.0	0.58

LAMPIRAN B

DATA PERHITUNGAN 75 LITER

Menit	Entalpi						Laju Kalor dan Kerja (kW)				COP
	in komp	out komp	out kond	out kap	out he	isentropis	Q evap	W comp	Q kond	Q Air	
15	415.08	451.35	240.08	240.08	400.44	443.55	2.275	0.472	2.085	0.662	4.825
30	414.93	452.4	240.16	240.16	406.85	444.51	2.272	0.487	2.167	0.592	4.664
45	414.71	453.44	239.94	239.94	407.89	444.23	2.272	0.503	2.183	0.592	4.513
60	414.86	453.53	240.24	240.24	410.66	444.41	2.270	0.503	2.215	0.557	4.516
75	414.93	453.87	240.39	240.39	413.68	444.51	2.269	0.506	2.253	0.523	4.482
90	415.01	453.96	240.47	240.47	419.13	444.62	2.269	0.506	2.323	0.453	4.481
105	414.89	454.05	240.43	240.43	419.22	443.71	2.268	0.509	2.324	0.453	4.455
120	414.89	453.96	240.51	240.51	427.17	443.71	2.267	0.508	2.427	0.348	4.463
135	414.81	453.87	240.43	240.43	429.75	443.64	2.267	0.508	2.461	0.314	4.464
150	414.96	453.87	240.73	240.73	432.43	443.82	2.265	0.506	2.492	0.279	4.478
165	414.89	453.7	240.74	240.74	437.62	443.83	2.264	0.505	2.559	0.209	4.487
180	414.92	453.96	240.77	240.77	440.56	443.55	2.264	0.508	2.597	0.174	4.461

LAMPIRAN C

DATA EKSPERIMEN 85 LITER

Menit	Temperatur					Tekanan (bar)			mass flow rate	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Daya (kW)
	In Komp	Out Komp	Out Kondensor	out kap	air	Ps	Pd	P kond				
15	15.80	77.4	33.0	8.30	32.1	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
30	15.70	82.1	33.0	8.20	33.5	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
45	15.70	85	33.0	8.50	34.9	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
60	15.70	84.7	33.0	8.40	36.2	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
75	15.50	84.9	33.1	8.40	37.4	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
90	15.40	84.6	33.0	8.60	38.6	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
105	15.30	84.7	33.0	8.40	39.6	5.63	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
120	15.50	84.4	33.0	8.40	40.7	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
135	15.20	84.4	32.9	8.70	41.6	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
150	15.10	84.3	32.8	8.80	42.5	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
165	14.90	84.4	32.8	9.20	43.3	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
180	14.90	84.4	32.7	9.00	44	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
195	15.00	84.4	32.8	9.30	44.5	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58
210	15.10	84.7	33.0	9.10	45	5.77	17.14	17.00	0.013	2.80	220.00	0.58

LAMPIRAN D
DATA PERHITUNGAN 85 LITER

Menit	Entalpi						Laju Kalor dan Kerja (kW)					COP
	in komp	out komp	out kond	out kap	out he	isentropis	Q evap	W comp	Q kond	Q Air	Q kond + HE	
15	415.38	447.6	240.38	240.38	399.01	444.92	2.275	0.419	2.062	0.632	2.694	5.431
30	415.3	451.7	240.45	240.45	409.19	444.85	2.273	0.473	2.194	0.553	2.746	4.804
45	415.3	454.22	240.45	240.45	411.71	444.85	2.273	0.506	2.226	0.553	2.779	4.493
60	415.3	453.96	240.53	240.53	414.68	444.85	2.272	0.503	2.264	0.513	2.777	4.521
75	415.15	454.13	240.38	240.38	417.69	444.68	2.272	0.507	2.305	0.474	2.779	4.484
90	415.08	453.87	240.39	240.39	417.43	444.57	2.271	0.504	2.302	0.474	2.775	4.503
105	415.01	453.96	240.47	240.47	423.59	444.5	2.269	0.506	2.381	0.395	2.775	4.481
120	414.89	453.7	240.27	240.27	420.3	443.6	2.270	0.505	2.340	0.434	2.775	4.499
135	414.66	453.7	240.12	240.12	426.37	443.32	2.269	0.508	2.421	0.355	2.777	4.471
150	414.59	453.36	240.13	240.13	426.03	443.26	2.268	0.504	2.417	0.355	2.772	4.500
165	414.44	453.44	240.06	240.06	429.15	443.08	2.267	0.507	2.458	0.316	2.774	4.471
180	414.44	453.44	240.21	240.21	432.18	443.08	2.265	0.507	2.496	0.276	2.772	4.467
195	414.51	453.44	240.43	240.43	438.26	443.15	2.263	0.506	2.572	0.197	2.769	4.472
210	414.59	453.7	240.51	240.51	438.52	443.26	2.263	0.508	2.574	0.197	2.772	4.451

LAMPIRAN E

DATA PERHITUNGAN 100 LITER

Menit	Entalpi						Laju Kalor dan Kerja (kW)				COP
	in komp	out komp	out kond	out kap	out he	isentropis	Q evap	W comp	Q kond	Q Air	
15	414.86	449.96	239.71	239.71	407.09	444.41	2.277	0.456	2.176	0.557	4.990
30	414.78	451.09	239.78	239.78	411.79	444.34	2.275	0.472	2.236	0.511	4.820
45	414.93	452.92	239.93	239.93	413.62	444.51	2.275	0.494	2.258	0.511	4.606
60	415.01	453.27	240.09	240.09	417.54	444.62	2.274	0.497	2.307	0.464	4.572
75	415.01	453.18	240.01	240.01	413.88	444.62	2.275	0.496	2.260	0.511	4.585
90	415.08	453.18	240.23	240.23	421.03	444.68	2.273	0.495	2.350	0.418	4.589
105	415.01	453.27	240.09	240.09	417.54	444.62	2.274	0.497	2.307	0.464	4.572
120	415.15	453.27	240.3	240.3	421.12	444.79	2.273	0.496	2.351	0.418	4.587
135	415.23	453.44	240.38	240.38	421.29	444.86	2.273	0.497	2.352	0.418	4.576
150	415.23	453.44	240.61	240.61	424.86	444.86	2.270	0.497	2.395	0.372	4.570
165	415.08	453.61	240.77	240.77	428.60	444.68	2.266	0.501	2.442	0.325	4.524
180	415.15	453.53	240.92	240.92	428.52	444.79	2.265	0.499	2.439	0.325	4.540
195	415.38	453.53	241.15	241.15	428.52	445.03	2.265	0.496	2.436	0.325	4.567
210	415.15	453.1	241	241	431.66	445.35	2.264	0.493	2.479	0.279	4.589

225	415.01	453.45	241.01	241.01	432.01	445.18	2.262	0.500	2.483	0.279	4.527
240	415.15	453.54	241.07	241.07	435.68	445.35	2.263	0.499	2.530	0.232	4.535
255	415.08	453.36	241.16	241.16	442.64	445.25	2.261	0.498	2.619	0.139	4.543
270	415.23	453.71	241.38	241.38	442.99	445.42	2.260	0.500	2.621	0.139	4.518
285	415.15	453.63	241.32	241.32	442.91	445.35	2.260	0.500	2.621	0.139	4.517

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari studi yang dilakukan serta pembahasan terhadap data yang didapatkan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil studi numerik, pola kecepatan aliran tertinggi berada pada daerah yang memiliki perbedaan temperatur tinggi yaitu pada daerah sekitar *tube inlet*
2. Penambahan volume air mengakibatkan semakin lama proses peningkatan temperatur air dalam tangki. Proses pemanasan air mencapai 45°C pada eksperimen dengan volume air sebesar 75 liter selama 180 menit, pada eksperimen dengan volume air sebesar 85 liter selama 210 menit, dan pada eksperimen dengan volume air sebesar air selama 285 menit
3. Penambahan volume air mengakibatkan *Coefficient of Performance* (COP) pada sistem AC semakin besar. COP pada eksperimen dengan volume air 75 liter sebesar 4,524; COP pada eksperimen dengan volume air 85 liter sebesar 4,575; dan COP pada eksperimen dengan volume air 100 liter sebesar 4,590;

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penyempurnaan penelitian yang sejenis adalah:

1. Sebaiknya simulasi numerik dilakukan pada geometri 3 dimensi agar hasilnya lebih mendekati dengan hasil eksperimen
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal, dilakukan terlebih dahulu kalibrasi agar hasil pengukuran lebih akurat dan presisi.

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

Althouse, Andrew D., Tunquist, Carl K., and Bracciano, Alfred F. 2004. **Modern Refrigeration and Air Conditioning**. United State of America : The Goodheart-Willcox Compapny, Inc.^[1]

Apriyahanda , Onny. 2013. **Macam-Macam Heat Exchanger Alat Penukar Panas Bagian 1**. < <http://artikel-teknologi.com/macam-macam-heat-exchanger-alat-penukar-panas-bagian-1/>>.^[2]

Bachtiar, Ary. 2004. **Studi Pengaruh Beban Panas terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Vertical Channel**. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.^[3]

Moran, M.J and Howard N. Shapiro. 2000. **Fundamental of Engineering Thermodynamics**. John Wiley & Sons Inc. Chicester.^[4]

P.Incropera, Frank.,P.Dewitt, David.,L.Bergman, Theodore.,S.Lavine, Adrienne. 2007. **Fundamental of Heat and Mass Transfer Seventh Edition**. Asia : John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd.^[5]

Miller, Rex and Miller, Mark Richard. 2004. **Refrigeration Home & Commercial**. Indianapolis : Wiley Publishing, Inc.^[6]

Santoso, Daniel. 2013. **Pemanfaatan Panas Buang Pengkondisi Udara sebagai Pemanas Air dengan Menggunakan Penukar Panas Helikal**. Semarang: Politeknik Negeri Semarang^[7]

Sondex. 2014. **Sondex U-Tube Heat Exchanger - Working Principle**. <<https://www.youtube.com/watch?v=Jv5p7o-7Pms>> atau < <http://www.sondex.net/Sondex-Global/Products/Heat-Exchangers.aspx>>.^[8]

Trott, A. R., and Welch, T. 2000. **Refrigeration and Air-Conditioning**. Great Britain : Butterworth-Heinemann.^[9]

Wang, Shan K., 2000. **Handbook of Air Conditioning and Refrigeration**. New York : Mcgraw-Hill.^[10]

W. F. Stoecker & J. W. Jones. 1982. **Refrigerasi dan Pengkondisian Udara**. Jakarta: Erlangga.^[11]

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Cimahi, 03 Mei 1992, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Pertiwi, SD Negeri 2 Cimahi, SMP Negeri 1 Cimahi, dan SMA Negeri 2 Cimahi. Penulis sempat menempuh kuliah di Politeknik Negeri Bandung pada tahun 2010-2013 dan melanjutkan pada tingkat sarjana di jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014. Di Jurusan Teknik Mesin ini, Penulis mengambil Bidang Studi Konversi Energi, Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa. Penulis pernah menjadi Ketua Unit Kegiatan Mahasiswa Musik Politeknik Negeri Bandung, dan menjadi anggota divisi *event* Unit Kegiatan Mahasiswa Musik Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Untuk semua informasi dan masukan dapat menghubungi penulis melalui email kusumahbinar@yahoo.com.

Halaman ini sengaja dikosongkan